



PROJETO DE GRADUAÇÃO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E COMERCIAL E CONSTRUÇÃO DE ESPECIFICAÇÕES E CONCEITO PARA UM EQUIPAMENTO DE DIAGNÓSTICO DO GLAUCOMA VIA IMAGEM TÉRMICA

Por,
Paula Caminha Soares

Brasília, 07 de julho de 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E COMERCIAL E CONSTRUÇÃO DE ESPECIFICAÇÕES E CONCEITO PARA UM EQUIPAMENTO DE DIAGNÓSTICO DO GLAUCOMA VIA IMAGEM TÉRMICA

POR,

Paula Caminha Soares

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de
Produção.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Sanderson C. M. Barbalho, UnB/ EPR
(Orientador)

Prof. Dra. Ana Carla Bittencourt Reis, UnB/ EPR

Prof. Dra. Simone Borges Simão Monteiro, UnB/ EPR

Brasília, 07 de julho de 2015

Dedicatória

Dedico este estudo à minha mãe Hercília Maria Caminha Soares que tanto se esforçou para que conseguisse alcançar meus objetivos. À minha irmã, Luísa Caminha Soares que esteve ao meu lado em toda a minha vida. Ao meu namorado e melhor amigo, Rafael Simões, que sempre me incentivou a crescer e me ensinou com exemplos que nada é inalcançável. Foi pensando em vocês que dediquei meus esforços e decisões.

Paula Caminha Soares

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, Hercília Maria Caminha Soares e Paulo Maurício de Lemos Soares, por terem dado minha educação e princípios, que são a base de cada etapa da minha vida.

À minha irmã, Luísa Caminha Soares, por sempre estar disposta a me ouvir e confortar sempre que precisei.

Ao meu companheiro, Rafael Simões, que desde o início desta fase em minha vida foi meu maior incentivador, sempre disposto a me ajudar e interessado em compartilhar as minhas conquistas.

Ao meu orientador Sanderson C. M. Barbalho que me orientou durante esta trajetória e esteve sempre interessado em me ajudar, certamente levarei ensinamentos para a vida inteira.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Paula Caminha Soares

RESUMO

O desenvolvimento de produtos é considerado um processo cada vez mais crítico para a competitividade das empresas, especialmente com a globalização dos mercados, aumento da diversidade e variedade de produtos e redução da vida útil deles. O presente estudo tem como tema o desenvolvimento de um novo produto, fundamentado nos princípios de gerenciamento da inovação e no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). O projeto inclui a análise de tecnologia, de mercado e também o conceito de produto de um novo tipo de exame para o diagnóstico glaucoma utilizando a imagem térmica. O princípio do produto foi baseado nas pesquisas que indicam que o aumento da pressão intraocular implica na diminuição da temperatura, por consequência este novo exame via imagem térmica pode ser um substituto da tonometria. Para subsidiar esta pesquisa foi aplicado um questionário com 11 médicos oftalmologistas e também uma entrevista pessoal com um especialista.

ABSTRACT

The development of products is considered to be an increasingly critical process to the competitiveness of companies, especially with the globalization of the markets, the increase of diversity and variety of products and the decrease of the utility life of those. This study has as a theme the development of a new product, based on the principles of innovation management and the Product Development Processes (PDP). The project includes the analysis of technology, market and also the product concept based on customer needs to develop a new type of test for diagnosing glaucoma using the thermal image. The principle of the product was based on studies that indicate that the increase in intraocular pressure implies the decrease in temperature, therefore this new thermal image examination can be a substitute for tonometry. To support this study it was used a questionnaire with 11 ophthalmologists and also a personal interview with an expert.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 OBJETIVO.....	5
1.2 JUSTIFICATIVA	5
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 ANATOMIA DO OLHO HUMANO	7
2.2 GLAUCOMA	8
2.2.1 Atuais exames de detecção e acompanhamento do glaucoma	11
2.2.2 Características de qualidade de medidas dos exames	12
2.3 IMAGEM TÉRMICA.....	12
2.3.1 Microbolômetro.....	16
2.4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	17
2.4.1 Inovação.....	17
2.4.2 PDP	20
2.4.2.1 Definição das necessidades dos clientes	22
2.4.2.2 Definição dos requisitos dos clientes e do produto.....	23
2.4.2.3 Definição das especificações-meta	23
2.5 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DE PATENTES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	23
2.6 ROADMAPPING TECNOLÓGICO	24
2.7 MATURIDADE TECNOLÓGICA.....	25
2.8 ENTREVISTA COM <i>LEAD USERS</i> : OS TESTADORES DE NOVAS TECNOLOGIAS	25
3 METODOLOGIA	27
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	27
3.2 MODELO METODOLÓGICO	30
3.2.1 Estratégia: Planejamento estratégico do produto	30
3.2.2 Especificações: Projeto informacional	32
3.3 COMITÊ DE ÉTICA	33
4 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO PRODUTO	34
4.1 ANÁLISE DA TECNOLOGIA.....	34
4.1.1 Exames atuais via imagem térmica	34
4.1.1.1 Câncer de mama.....	35
4.1.1.2 Síndrome miofacial.....	36
4.1.1.3 Doenças reumáticas.....	37
4.1.2 Exames oculares.....	38
4.1.2.1 Tonometria	38
4.1.2.2 Retinografia e angiografias.....	40
4.1.2.3 Estereoscopia (estereofotografia) de papila	43
4.1.2.4 Topografia de disco óptico	44
4.1.2.5 Tomografia de coerência óptica (OCT)	46
4.1.2.6 Campimetria	47
4.1.2.7 Processo de detecção do glaucoma.....	48
4.1.3 Identificação da oportunidade tecnológica	49
4.2 ANÁLISE DO MERCADO	49
4.2.1 Necessidade de mercado.....	49
4.2.2 Crescimento de vendas das câmeras térmicas	52
4.3 DEFINIÇÃO DA OPORTUNIDADE	56
4.3.1 Relação entre pressão intraocular (PIO) e temperatura ocular	56
4.3.2 Exame via imagem térmica para auxílio na detecção do glaucoma	59
4.3.3 <i>Roadmapping</i>	60
4.4 ANÁLISE DE PATENTES	62
5 PROJETO INFORMACIONAL	64
5.1 DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES	64
5.1.1 Levantamento de necessidades com especialistas.....	64

5.1.2	Entrevista com o <i>lead user</i>	68
5.1.3	Observação direta dos clientes e experimentação	69
5.2	DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DOS CLIENTES	70
5.3	DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO PRODUTO E ESPECIFICAÇÕES-META	71
5.4	CONCEITO DO PRODUTO	72
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	APÊNDICES	85
	APÊNDICE I: Explicativo básico para a proposta de exame a estes especialistas	86
	APÊNDICE II: Formulário aplicado aos especialistas disponível na plataforma	
	Typeform.....	92
	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura do globo ocular.....	7
Figura 2. Formação de imagem pelo olho humano.....	8
Figura 3. A pressão intraocular elevada no glaucoma.....	9
Figura 4. Efeito de perda da visão periférica causado pelo glaucoma.....	10
Figura 5. Comparação da visão normal com o sistema de visão de imagem térmica.....	13
Figura 6. Imagens monocromática e policromática.....	13
Figura 7. Espectro eletromagnético.....	14
Figura 8. Estrutura de uma câmera térmica.....	15
Figura 9. Conversão de radiação em imagem térmica.....	15
Figura 10. Estrutura do pixel do microbolômetro.....	16
Figura 11. Comparativo do tamanho da matriz de microbolômetros e uma moeda.....	17
Figura 12. Mecanismo da inovação.....	18
Figura 13. Mecanismo da inovação dentro da organização.....	18
Figura 14. Processo de inovação: modelo do funil.....	19
Figura 15. Fases do modelo MRM.....	20
Figura 16. Modelo de referência de desenvolvimento de produtos.....	21
Figura 17. Arquitetura do roadmap.....	24
Figura 18. Características de P&D como uma função da maturidade tecnológica.....	25
Figura 19. Classificação da pesquisa científica em engenharia de produção.....	27
Figura 20. Classificação da pesquisa em questão.....	29
Figura 21. Adaptação dos modelos de referências de Barbalho (2006) e Rozenfeld et al. (2006).....	30
Figura 22. Metodologia: primeira etapa.....	31
Figura 23. Metodologia: segunda etapa.....	32
Figura 24. Imagens térmicas utilizadas para identificar anomalias no corpo humano.....	34
Figura 25 - Imagem térmica para detecção de câncer.....	35
Figura 26. Termografia mamária.....	36
Figura 27. Imagem térmica da região dorsal antes e depois do tratamento.....	37
Figura 28. Exame termográfico para diagnóstico da síndrome miofacial.....	37
Figura 29. Imagem térmica para identificação de artrite reumatoide.....	38
Figura 30. Tonometria de aplanção.....	39
Figura 31. Tonometria de sopro.....	40
Figura 32. Retinografia colorida e aneríta.....	41
Figura 33. Injeção do contraste no paciente antes de realizar a angiografia fluoresceínica....	41
Figura 34. Tipos de angiografia.....	42
Figura 35. Retinógrafo.....	42
Figura 36. Esquema prático do funcionamento do retinógrafo.....	43
Figura 37. Imagem formada pela estereoscopia de papila.....	43
Figura 38. Escavação do nervo óptico.....	44
Figura 39. Fundamento do exame de topografia de disco óptico.....	44
Figura 40. Imagem formada pelo exame HRT de um paciente com olho glauco com as demarcações da escala de Moorfields.....	45
Figura 41. Topografia de disco óptico com o aparelho HRT.....	45
Figura 42. Exemplo de evolução do buraco macular ao longo do tempo pelo exame OTC....	46
Figura 43. High Definition Spectral Domain Cirrus (OCT).....	47
Figura 44. Exame de campimetria e mapa resultante.....	47

Figura 45. Processo de identificação do glaucoma	48
Figura 46. Prevalência dos pacientes	50
Figura 47. Gráfico de ocorrência do glaucoma de acordo com raça e faixa etária	50
Figura 48. Gráfico da população brasileira distribuída por cor.....	51
Figura 49. Composição da população residente total por sexo e grupos de idade - Brasil - 1991/2010.....	51
Figura 50. Distribuição de casos de glaucoma de ângulo aberto na população com idade acima de 40 anos (%) em 2010 por região.....	52
Figura 51. Estimativa de vendas das câmeras de imagem térmica	53
Figura 52. Tipos de câmeras térmicas vendidas pelas principais empresas do ramo.....	54
Figura 53. Câmera Flir T640 para detecção de lesões esportivas	55
Figura 54. Câmera Flir T640 utilizada na termografia.....	55
Figura 55. Destaque da artéria oftálmica que irriga o globo ocular	56
Figura 56. Olhos glaucomatosos: o número de capilares é reduzido, as malhas são fragmentadas e o fluxo de sangue irregular	56
Figura 57. A circulação do sangue: (A) em condições normais; (B) no glaucoma.....	57
Figura 58. Efeito da quimotripsina alfa injetada (A) antes da injeção (B) 22 dias após a injeção	57
Figura 59. Registro da diminuição de temperatura em função do aumento da pressão intraocular.....	58
Figura 60. Termograma do olho esquerdo com pontos de medição definidos	59
Figura 61. Ponto do processo em que o exame via imagem térmica substituiria a tonometria para a identificação do glaucoma	60
Figura 62- Roadmap tecnológico para desenvolvimento de diagnóstico do glaucoma via imagem térmica	61
Figura 63. Maturidade do produto exame de diagnóstico do glaucoma via imagem térmica..	61
Figura 64. Sensor implantado no globo ocular para medir a PIO (patente WO/2014/137840)	62
Figura 65. Dispositivo de medição da PIO (WO/2011/062309).....	62
Figura 66 Matriz de correlação do produto	72
Figura 67. Alternativas de conceito de produto	73
Figura 68. Conceito de produto (câmera Fluke modelo Ti55).....	74
Figura 69. Conceito de produto (câmera FLIR E-Series)	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das classificações de pesquisa	28
Tabela 2. Relação entre escavação do nervo óptico e pressão intraocular.....	58
Tabela 3. Respostas do questionário aplicado aos 11 especialistas	64
Tabela 4. Comparação entre o tonômetro de Goldmann e de Sopro	69
Tabela 5. Definição das necessidades e requisitos dos clientes	70

LISTA DE SÍMBOLOS

Unidades de Medidas

mm	Milímetros	$[10^{-3}\text{m}]$
μm	Micrômetro	$[10^{-6}\text{m}]$
nm	Nanômetro	$[10^{-9}\text{m}]$
ms	Milissegundos	$[10^{-3}\text{s}]$
°C	Graus Celsius	
mmHg	Milímetros de Mercúrio	

Símbolos Químicos

$\text{C}_2\text{OH}_{10}\text{Na}_2\text{O}_5$	Fluoresceína Sódica
$\text{C}_{43}\text{H}_{47}\text{N}_2\text{NaO}_6\text{S}_2$	Indocianina Verde
VOx	Óxido de Vanádio

Siglas

CBO	Conselho Brasileiro de Oftalmologia
CCD	Dispositivo de Carga Acoplada
EUA	Estados Unidos da América
FDT	Campimetria de Frequência Duplicada
HRT	Topografia de Disco Óptico
IBGE	Instituto Brasileiro Geografia e Estatística
IG	Indocianina Verde
IMO	Instituto de Moléstias Oculares
INCA	Instituto Nacional de Câncer
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IR	Imagem Infravermelha
LER	Lesão por Esforço Repetitivo
MEMS	Sistema Micro Eletromecânicos
MRM	Modelo de Referência Mecatrônico
NEI	<i>National Eye Institute</i>
OCT	Tomografia de coerência
OMS	Organização Mundial da Saúde
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PG	Pontos de Gatilho
PIDP	Processo de Inovação no Desenvolvimento do Produto
PIO	Pressão Intraocular
R\$	Reais
SBG	Sociedade Brasileira de Glaucoma
TAG	Tonômetro de Aplanção de Goldmann
UV	Ultravioleta

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é analisar as condições de mercado e de tecnologia disponíveis hoje para que uma câmera de tal natureza seja viável técnica e economicamente para o desenvolvimento de um novo produto. Ele será desenvolvido para detectar a diminuição de temperatura do globo ocular e auxiliar no diagnóstico do glaucoma. Como resultado desse trabalho é caracterizada a oportunidade de negócio do equipamento de imagem termal para diagnóstico de glaucoma, assim como é desenvolvido o conceito do produto e suas especificações técnicas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segunda principal causa de cegueira no mundo, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o glaucoma é uma doença multifatorial complexa, com características específicas, em que ocorre um dano ao nervo óptico e perda progressiva e irreversível do campo visual. Este dano óptico geralmente é causado por um aumento da Pressão Intraocular (PIO).

O fato é que não existe um nível específico de PIO elevada que absolutamente cause o glaucoma e, também, não há um nível menor de pressão intraocular que possa eliminar o risco de uma pessoa de desenvolver o glaucoma. Por isso o diagnóstico precoce é a chave para prevenir a perda de visão.

Pesquisas demonstraram que com o aumento da pressão intraocular, há a diminuição da temperatura. Mesmo que muito pequena, esta poderia ser captada por um artifício de imagem térmica denominada câmera de imagem termal, um equipamento óptico baseado em microbolômetros. Esta tecnologia gera sinais de luz que são processados eletronicamente a partir de uma mudança de energia térmica emitida por um objeto. Sua sensibilidade permite distinguir duas superfícies com apenas cinco centésimos de diferença de temperatura. Este sensor é geralmente utilizado nas indústrias militares e automotivas, na construção civil, em empresas de energia elétrica e em alguns campos da medicina. Sendo assim, o objetivo deste projeto acadêmico é analisar a viabilidade tanto do ponto de vista tecnológico quanto mercadológico de uma alternativa de exame via imagem térmica que auxilia no diagnóstico do glaucoma com vistas a desenvolver as especificações meta do produto e seu conceito básico.

Além disto, a inovação hoje é fator de sucesso no mundo dos negócios. O consumidor final que antes priorizava em sua decisão de compra o preço, o desempenho e a qualidade, agora preza também pela inovação. Esta é cada vez mais necessária, em função do aumento do desenvolvimento tecnológico que praticamente exige do mercado novas ideias e soluções. As pessoas são diferentes, por isso querem produtos que os deixem diferenciados dos demais. Seja em vestimentas ou produtos mais modernos, o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) é o atual carro-chefe das empresas.

O PDP é um processo criativo que transforma a oportunidade de mercado e de tecnologia em novos produtos com fins comerciais. Parte da demanda do desenvolvimento de novos produtos surge a partir das necessidades dos clientes, ouvir o consumidor é uma das maneiras de encontrar soluções para problemas existentes no cotidiano. Há também a tecnologia denominada “empurrada” em que o produto novo não era algo necessário antes de sua criação, mas se tornou após sua invenção por conta do diferencial inovador criado. Um caso clássico é o Ipod criado pela Apple. Já existiam outros tipos de tocadores de música, mas com as grandes novidades do produto – ser pequeno, *touchscreen* e de fácil uso – ele desbancou todos os anteriores.

Para realizar o PDP, é necessária uma experiência em *marketing* significativa que se concentra em satisfazer desejos e necessidades dos consumidores; e reconhecer que a inovação é um processo complexo que exige investimento em pesquisa e desenvolvimento. Produtos novos e inovadores diferenciam as empresas com foco no cliente das demais. Os diferentes ambientes em que as empresas operam são altamente competitivos e quem tem maior capacidade de inovar torna-se líder de mercado.

Para uma pesquisa de desenvolvimento de um novo produto existem modelos estruturados que determinam fases específicas para a realização do PDP. São modelos de referência que servem como ponto de partida e devem ser moldados de acordo com as exclusividades do produto que se deseja desenvolver. Neste trabalho serão adaptados os modelos de Barbalho (2006) e Rozenfeld et al. (2006) para o desenvolvimento de um diagnóstico auxiliar do glaucoma.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho é dividida em sete capítulos. No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica para que melhor sejam absorvidos conceitos básicos do trabalho, como a estrutura ocular, o glaucoma, o PDP e a gestão da inovação. No terceiro capítulo, define-se a metodologia utilizada para esta pesquisa. No capítulo 4, é desenvolvido o planejamento estratégico do produto que é subdividido em análise da tecnologia, do mercado, definição da oportunidade e análise de patentes. No capítulo 5, apresenta-se o projeto informacional em que são definidos: as necessidades e os requisitos dos clientes; os requisitos dos produtos; as especificações-meta; e conceito do produto. O capítulo 6 contém os resultados e discussões deste trabalho. Por fim, o capítulo 7 contém as considerações finais, além de sugerir propostas de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ANATOMIA DO OLHO HUMANO

O olho humano é, aproximadamente, uma esfera com cerca de 20mm de diâmetro aproximadamente. As principais partes do olho humano são a córnea, o cristalino, a íris e a retina (PINHEIRO JUNIOR, 2010). A Figura 1 ilustra a anatomia do olho humano.

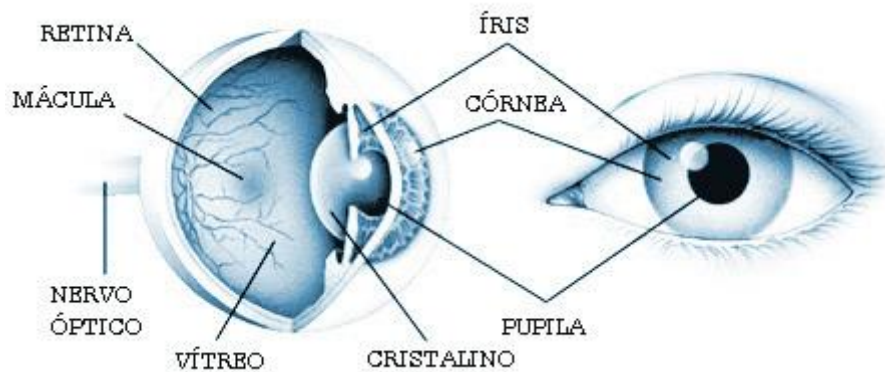


Figura 1. Estrutura do globo ocular

Fonte: <www.olhos00.blogspot.com.br>. Acesso em dezembro de 2014.

A córnea é a superfície transparente de tecido conjuntivo que funciona como uma lente de grande capacidade de refração e filtra os raios ultravioletas (UV). Seguindo da córnea em direção ao fundo do olho, tem-se na câmara anterior o humor aquoso o líquido que tem a função de nutrir a córnea e o cristalino e mantém uma pressão adequada para o olho.

A íris é a parte colorida do olho e em seu centro possui uma abertura central chamada pupila. Sua função é controlar a quantidade de luz que deve chegar à retina. Ela pode aumentar e diminuir de tamanho para regular a quantidade de luz que entra no olho.

O cristalino é uma estrutura biconvexa e gelatinosa. Ele é responsável por convergir os raios de luz na retina. Como sua estrutura é muscular (músculos ciliares), ele muda de espessura conforme a distância em que se encontra o objeto focalizado.

A retina possui as células que recebem os estímulos visuais e os transformam em impulsos nervosos. O nervo óptico é ligado à retina, de onde capta e transmite os impulsos nervosos até o cérebro. Este funcionamento pode ser melhor compreendido observando a Figura 2:

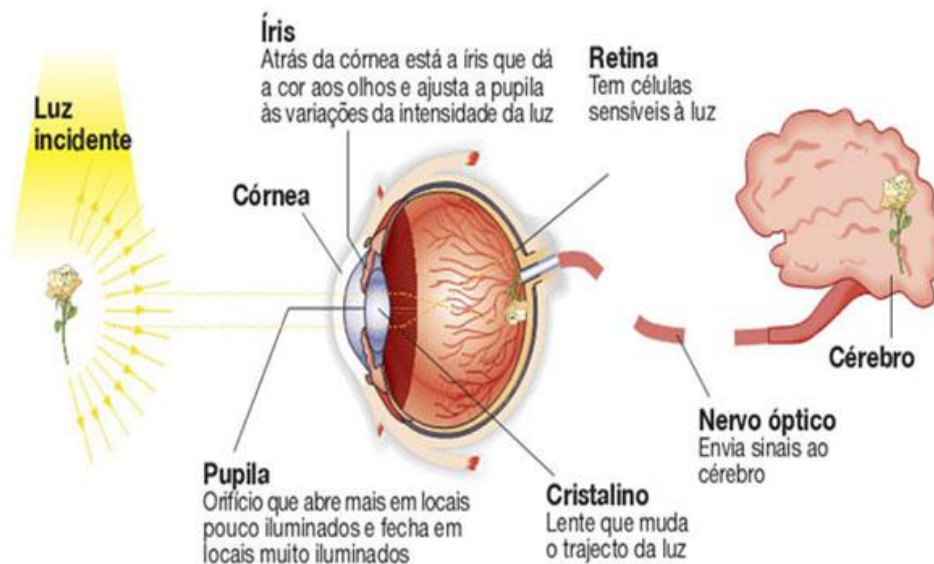


Figura 2. Formação de imagem pelo olho humano
 Fonte: <www.aulas-fisica-quimica.com>. Acesso em dezembro de 2014.

Para a formação das imagens, o objeto focado emite luz própria que penetra na córnea, atravessa a pupila e o humor aquoso. Juntamente com a córnea, o cristalino concentra os raios luminosos para formar uma imagem invertida no fundo do globo ocular, na retina. Na retina, esta imagem é traduzida em sinais elétricos que são enviados pelo nervo óptico ao cérebro e são, por fim, interpretados. Na próxima secção será explicado como o globo ocular e a visão são afetados pelo glaucoma, foco deste estudo.

2.2 GLAUCOMA

Quando vemos um objeto, a figura é transmitida do olho ao cérebro através do nervo óptico. Esse nervo trabalha como um cabo elétrico, contendo cerca de um milhão de fios que enviam a mensagem visual lateral (ou periférica) e também a visão central, usada para leitura. O glaucoma pode destruir gradativamente esses "fios elétricos", causando pontos cegos na área de visão (Conselho Brasileiro de Oftalmologia, 2009).

De acordo com a *Glaucoma Research Foundation* (2015), o glaucoma ocorre com a drenagem lenta do humor aquoso pela malha trabecular e cria pressão dentro do olho. Se não for tratado, esse acúmulo de pressão intraocular danifica o nervo óptico, causando cegueira. O tipo mais comum é o glaucoma crônico de ângulo aberto. Nesse tipo de glaucoma, o ângulo entre a íris e a córnea pelo qual o humor aquoso flui da câmara posterior do olho permanece aberto, embora o fluido ainda drene muito lentamente. Se todo o nervo óptico for destruído, irá ocorrer uma cegueira definitiva. O glaucoma é uma neuropatia frequentemente ligada ao aumento da PIO (Figura 3).

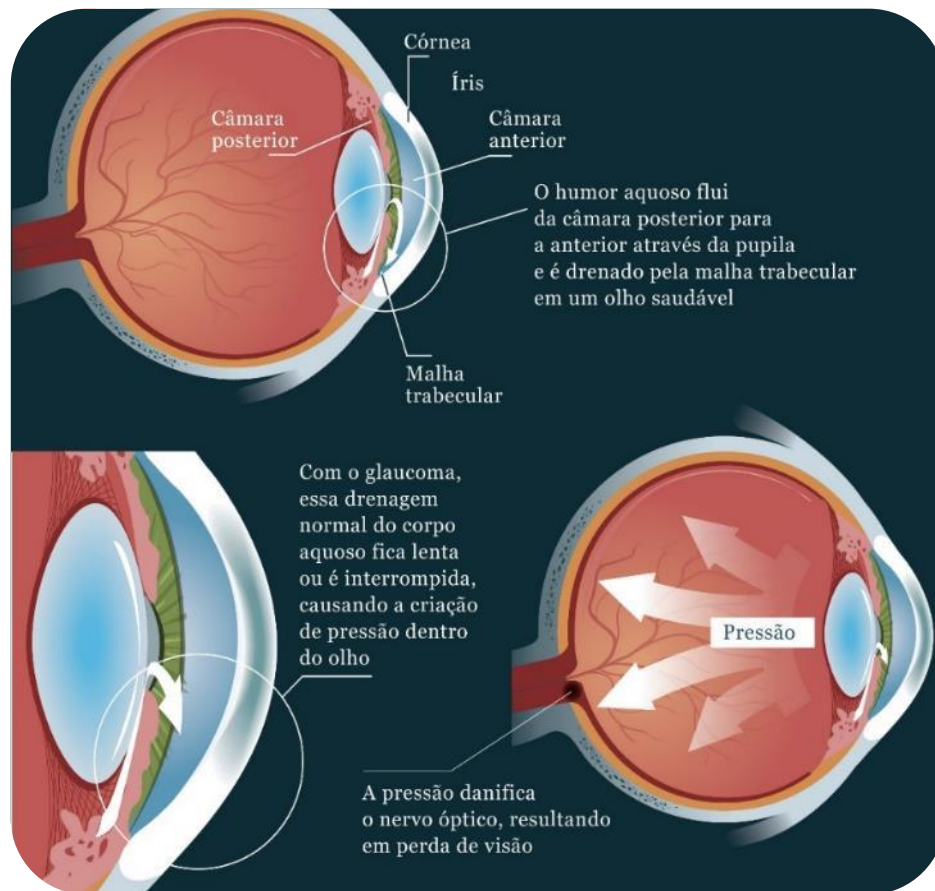


Figura 3. A pressão intraocular elevada no glaucoma
 Fonte: <www.cirurgiadecatarata.com.br>. Acesso em outubro de 2014.

A mensuração da PIO é o procedimento inicial para indicar se um paciente apresenta ou não o glaucoma, de acordo com a Sociedade Brasileira do Glaucoma (2005) os parâmetros de referência são:

- PIO normal: entre $13,0 + 2,1$ mmHg e 21 mmHg;
- PIO elevada: acima de 21 mmHg.

Se o sujeito apresentar a PIO elevada a suspeita de glaucoma é muito alta. Contudo, o diagnóstico do glaucoma não significa pressão intraocular elevada. Alguns portadores da doença podem apresentar a pressão intraocular normal nos exames e, ainda assim, demonstrarem perda de campo visual.

O glaucoma não provoca dor e os portadores dessa doença só percebem sua existência quando os danos são graves e irreversíveis. De acordo com a Sociedade Brasileira do Glaucoma (SBG), 80% das pessoas que tem a doença só procuram um oftalmologista após sentirem alterações graves, como perda de visão, olhos vermelhos, desconforto ou vista embaçada. Uma consequência do glaucoma na visão humana é a perda gradativa da visão periférica (Figura 4).



Figura 4. Efeito de perda da visão periférica causado pelo glaucoma
 Fonte: Adaptado de <www.optometriaparatodos.wordpress.com>. Acesso em novembro de 2014.

De acordo com o CBO (2009), o Glaucoma pode ser: de ângulo aberto, de ângulo fechado, congênito ou secundário.

- Glaucoma de ângulo aberto: Trata-se da forma mais comum do glaucoma. Ocorre como decorrência do processo de envelhecimento. O ângulo de drenagem do olho torna-se menos hábil com o passar do tempo e a pressão intraocular aumenta de modo gradual. Em geral, o glaucoma primário de ângulo aberto não exibe sintomas. O paciente não sente dor e perde lentamente a visão, percebendo a perda quando o nervo óptico já está bastante lesado. Devido à ausência de sintomas, a melhor forma de diagnóstico desse tipo de glaucoma é o exame ocular periódico.

- Glaucoma de ângulo fechado: ocorre quando o sistema de drenagem é totalmente bloqueado, geralmente, pela íris (a parte colorida do olho) e o líquido não consegue penetrar na rede trabecular para ser drenado. O paciente apresenta dor aguda na cabeça e no olho, que chegam até a provocar vômitos e redução da visão. A pressão intraocular (PIO) torna-se bem elevada e pode danificar o nervo óptico de forma rápida e agressiva. Este é o quadro de uma crise de glaucoma agudo, uma emergência oftalmológica que, se não tratada rapidamente, leva à perda visual irreversível, parcial ou mesmo total, em questão de horas.

- Glaucoma congênito: é caracterizado pela má formação no sistema de drenagem do humor aquoso que ocorre em recém-nascidos e crianças. A criança apresenta lacrimejamento, dificuldade em tolerar a claridade, perda do brilho da região da íris – que passa a aparentar uma coloração mais azulada e opaca - e aumento do volume do globo ocular.

- Glaucoma Secundário: o aumento da pressão intraocular ocorre após doenças inflamatórias, catarata avançada, alteração dos pigmentos naturalmente existentes dentro dos olhos, hemorragia e

obstrução de vasos intraoculares. Outra causa de glaucoma secundário é o uso de colírios de corticoide por tempo prolongado sem indicação e/ou acompanhamento do médico oftalmologista.

O glaucoma ainda não tem cura e a visão perdida não pode ser recuperada. Com a medicação ou cirurgia é possível parar o processo de perda de visão. Quanto antes diagnosticado, maiores as chances de não danificar a vista de um paciente. A próxima seção apresenta quais são os atuais exames de detecção desta doença.

2.2.1 Atuais exames de detecção e acompanhamento do glaucoma

O glaucoma pode ser detectado após exames oftalmológicos com o auxílio de aparelhos especiais. De acordo com o Instituto de Moléstias Oculares (IMO) os principais exames utilizados para a detecção e acompanhamento do glaucoma são:

- Tonometria de Aplanção ou de Sopro – técnica usada para medir a pressão intraocular. Deve ser realizada rotineiramente, principalmente após os 40 anos.
- Fundoscopia – através deste exame, que avalia o nervo óptico, é possível detectar uma lesão ocasionada pelo glaucoma.
- Gonioscopia – é o exame do ângulo de drenagem do olho, para avaliar se o glaucoma é de ângulo aberto, de ângulo fechado ou secundário.
- Curva Tensional Diária – é a medida da pressão ocular em horários diferentes no mesmo dia, com o objetivo de obter a mínima e máxima pressão ocular. Estas informações permitem estabelecer condições melhores de avaliação do tratamento.
- Prova de Sobrecarga Hídrica – é um teste provocativo, com intuito de reproduzir a pressão máxima ocular durante as 24 horas do dia, para estabelecer adequadamente o tratamento e avaliar seus resultados.
- Campimetria Computadorizada – permite o estudo do campo visual central e periférico, representando um auxílio importante em casos de glaucoma. A campimetria avalia defeitos de campo visual causados por algumas patologias.
- Campimetria de Frequência Duplicada (*Frequency-Doubling Technology* - FTD) – este teste que examina o campo visual, é capaz de detectar defeitos no campo visual precocemente causados pelo glaucoma. O acompanhamento do paciente com este exame dá informações ao médico da progressão desses defeitos com o passar do tempo.
- Retinografia e Angiografia – consiste em fotografar o fundo de olho, para documentar alterações na retina ou disco óptico, fundamental no acompanhamento de doenças progressivas da retina ou glaucoma.

- Estereoscopia de Papila – exame capaz de realizar uma avaliação bi e tridimensional do disco óptico, permitindo uma comparação anatômica durante o acompanhamento do paciente e uma análise qualitativa do nervo óptico.

- Topografia de Disco Óptico – chamado oftalmoscopia de varredura, é um exame que auxilia no diagnóstico precoce do glaucoma e avalia a progressão do dano estrutural.

- Tomografia de Coerência Óptica (OCT) - é um método de imagem não invasivo, que pode ser considerado o análogo óptico da ultrassonografia. Assim, se obtêm imagens em alta resolução da retina, do nervo óptico e da camada de fibras nervosas, que podem ser avaliadas qualitativa e quantitativamente.

O proposto novo diagnóstico via imagem térmica ambiciona ser um exame não invasivo, indolor e que apresenta um resultado em tempo real. A grande sensibilidade para detecção do calor permite identificar anomalias desde o início da doença, tornando a recuperação do paciente mais provável. Além disto, a tecnologia pode ser de pequeno porte, o que se difere da grande maioria dos exames oculares.

2.2.2 Características de qualidade de medidas dos exames

A avaliação da qualidade de testes diagnósticos é definida de acordo com as propriedades dos exames. Os "testes diagnósticos" são compreendidos não apenas como exames laboratoriais, também se referem a procedimentos diversos como interrogatório clínico, exame físico e métodos preliminares diversos (BRACHT, 2007). De acordo com Brachet (2007) as propriedades dos exames diagnósticos são:

- Reprodutibilidade ou repetibilidade: é a coerência de resultados quando o exame se repete. Quando médicos diferentes realizam o mesmo exame e chegam ao mesmo diagnóstico alcançam o nível máximo de reprodutibilidade.
- Acurácia ou validade: refere-se ao grau em que o teste é capaz de determinar precisamente o valor do que está sendo medido. Por exemplo, um teste para detecção de glaucoma pode ter 100% de acurácia quando for capaz de produzir resultados positivos para todas as amostras de pacientes doentes e produzir resultados negativos para os indivíduos negativos.
- Sensibilidade: é a capacidade que o teste diagnóstico/triagem apresenta de detectar os indivíduos verdadeiramente positivos, ou seja, de diagnosticar corretamente os doentes
- Especificidade: é a capacidade que o teste diagnóstico/triagem tem de detectar os verdadeiros negativos, isto é, de diagnosticar corretamente os indivíduos saudáveis.

2.3 IMAGEM TÉRMICA

As imagens térmicas surgiram com o objetivo de tornar algo visível sem a necessidade de luz, apenas com a presença do calor. Desde câmeras de visão noturna utilizadas pelos militares à aplicação de imagens de exames médicos, sensores de imagem térmica estão cada vez mais frequentes.

Segundo Bittencourt (2012), a imagem térmica é feita pela captação da radiação infravermelha que está fora do espectro visível, a qual os humanos não têm capacidade de enxergar sem o uso de dispositivos artificiais. A radiação infravermelha foi descoberta em 1800 pelo pesquisador William Herschel (GARCIA, 2013). A seguir (Figura 5) uma comparação da visão humana ao observar um naufrágio e um dispositivo utilizando a imagem térmica.

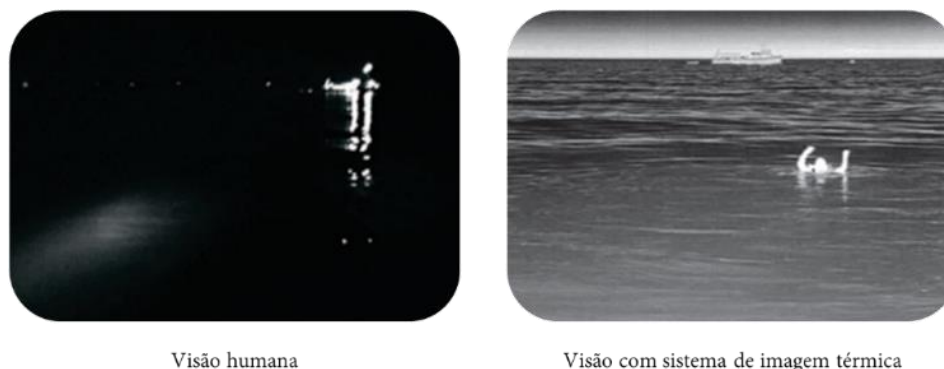


Figura 5. Comparação da visão normal com o sistema de visão de imagem térmica
Fonte: Adaptado de <www.planobrazil.com>. Acesso em outubro de 2014.

As câmeras térmicas utilizam dispositivos capazes de gerar imagens monocromáticas ou coloridas, com auxílio de *softwares* potentes, que dão maior nitidez e percepção dos objetos observados.

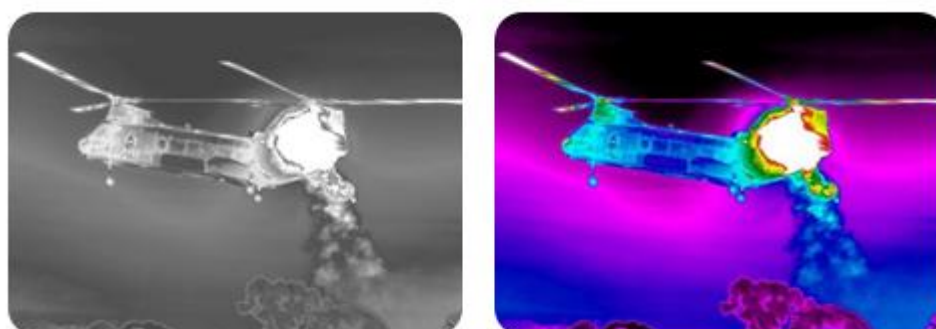


Figura 6. Imagens monocromática e policromática
Fonte: <www.planobrazil.com>. Acesso em outubro de 2014.

Esse sistema faz uso da captação da radiação infravermelha emitida ou mesmo refletida por um objeto. De acordo com Batista (2013), os dispositivos termais atuam similarmente ao sistema de visão das serpentes, que podem enxergar até mesmo na ausência total da luz, uma vez que corpos vivos emitem infravermelho. Qualquer corpo com temperatura acima de zero absoluto (-273°C) emite raios infravermelhos, ou seja, até mesmo uma pedra de gelo.

Como a vibração molecular cessa na temperatura de do zero absoluto, consequentemente, a energia radiada é nula, como expressa pela Lei de Stefan-Boltzmann representada pela equação (1).

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

Onde,

E = energia total emitida (Watts por metro²);

ε = emissividade;

σ = constante de proporcionalidade = $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$;

T = temperatura absoluta em graus kelvin.

De acordo com Richards (2001), a faixa total de infravermelho vai do próximo (1 μm) ao longo (1000 μm). Vale ressaltar que o espectro eletromagnético é bastante amplo e que os seres humanos são capazes de enxergar apenas uma ínfima fração deste espectro restrito entre 0,4 e 0,7 μm .

Assim como a luz visível é dividida em cores (de violeta ao vermelho), o espectro infravermelho é dividido em próximo (NIR- *near infrared*), curto (SWIR- *short-wavelength infrared*), médio (MWIR - *mid-wavelength infrared*) e longo (LWIR - *long-wavelength infrared*). A faixa de radiação infravermelho fornece mais cores do que a visível (Figura 7).

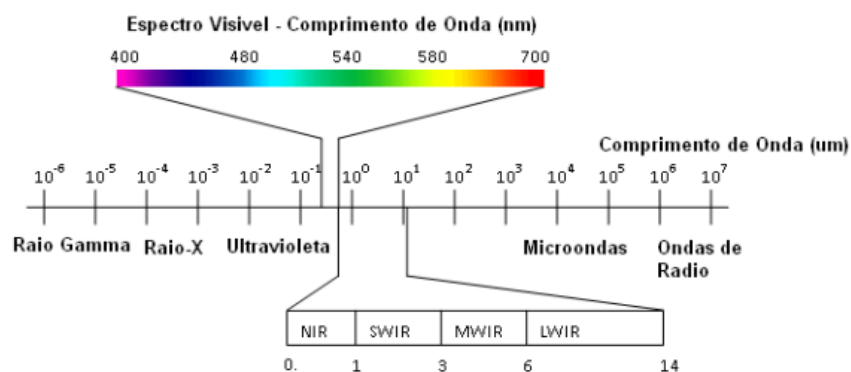


Figura 7. Espectro eletromagnético
Fonte: BITTENCOURT, 2012

O diferencial de uma câmera térmica para uma digital normal está na tradução dos raios infravermelhos para geração de imagem. A estrutura de uma câmera térmica (Figura 8) possui uma área de observação: quanto mais longe o objeto está, maior a área observada será, o que segue um princípio básico de óptica geométrica. A radiação infravermelha emitida por um corpo é focalizada por um conjunto óptico, segue para os detectores de infravermelhos que geram em menos de um segundo um termograma que é traduzido em impulsos elétricos. Os impulsos são enviados para a placa de processamento de sinal que envia para o monitor a imagem formada.

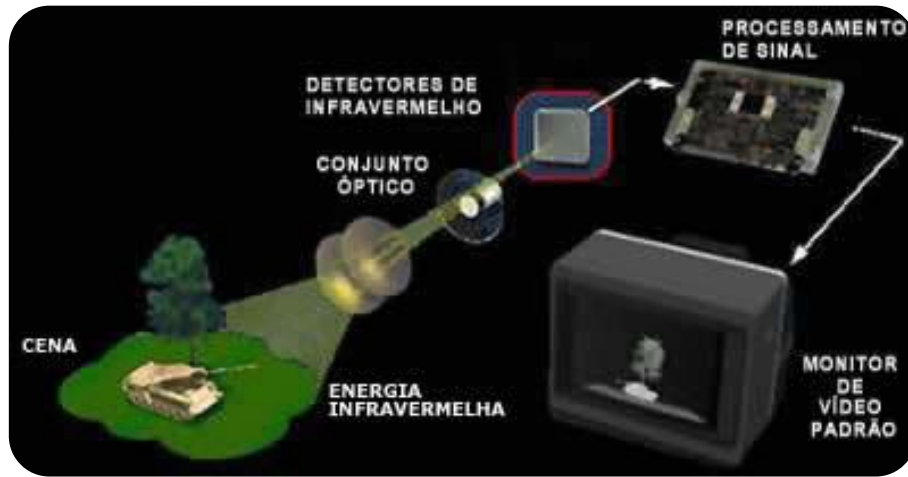


Figura 8. Estrutura de uma câmera térmica

Fonte: <www.electronics.howstuffworks.com>. Acesso em outubro de 2014.

O esquema abaixo apresenta o processo de conversão de radiação infravermelha em imagens por meio de uma câmera de imagem térmica (Figura 9):

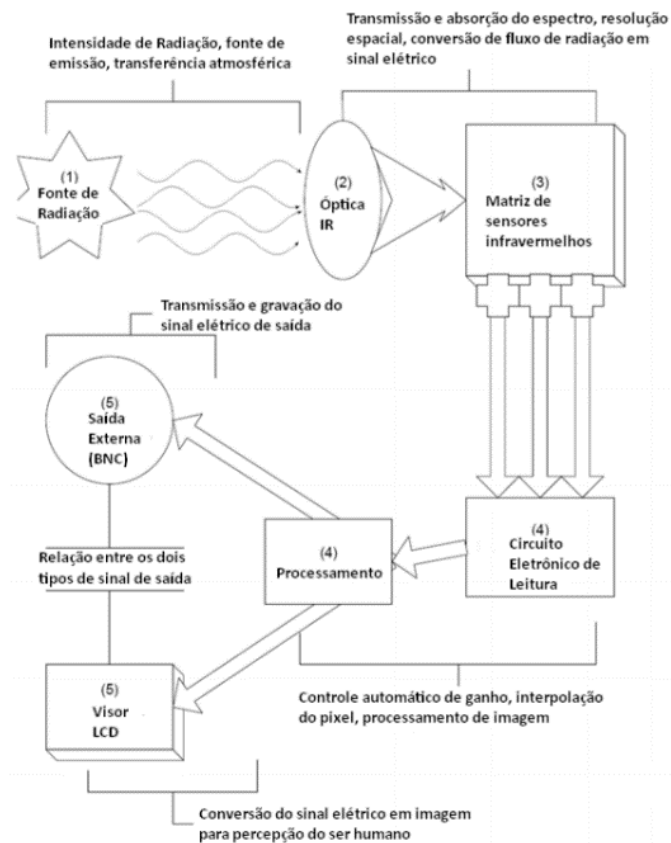


Figura 9. Conversão de radiação em imagem térmica

Fonte: BITTENCOURT, 2012

Em sistemas termográficos estas câmeras utilizam uma matriz de plano focal, que é um sensor de imagem integrada, com tamanhos de 20.000-1.000.000 pixels (indicado como item (3) da Figura 9). Esses detectores térmicos de milímetros de espessura são aquecidos pela radiação de calor em

aproximadamente de 10^{-3} s (TROUILLEAU, 2009). De acordo com Akin (2005), os sensores térmicos mais comumente utilizados são os microbolômetros que serão explicados a seguir.

2.3.1 Microbolômetro

Segundo Akin (2005), na década de 80 foi desenvolvido o sistema denominado microbolômetro de óxido de vanádio (VOx). O sistema de microbolômetro produz imagens digitalizadas de alta qualidade convertendo a mudança de calor que incide na sua superfície, sendo oriunda de diferentes fontes e intensidades, em sinais elétricos.

O princípio de funcionamento é a absorção da radiação incidente alterando a temperatura inicial do microbolômetro, assim esta mudança de temperatura gera o sinal elétrico de saída. Esse processamento de sinal digital é o cálculo de um valor de temperatura para cada pixel (COSTA, 2007) e, em tempo real, gera as conhecidas imagens monocromáticas ou coloridas que passa a ser exibida pelo observador.

Um microbolômetro consiste de uma matriz de pixels, cada pixel sendo composto de várias camadas (Figura 10). O pixel é uma estrutura de baixa massa suportada por pernas finas que absorve raios infravermelhos, o que limita a condução de calor para o substrato subjacente (estrutura verde da Figura 10). Quanto menor a massa do pixel iluminado, menos radiação infravermelha é necessária para aumentar a sua temperatura, tornando-o mais sensível. O conjunto de microbolômetros são denominadas matrizes, muitas vezes são chamadas MEMS (sistema microeletromecânicos).

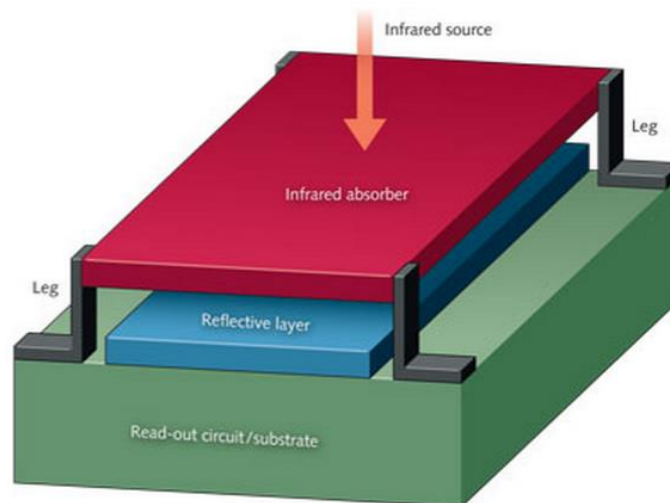


Figura 10. Estrutura do pixel do microbolômetro
Fonte: HECHT, 2012

Acima apresenta-se um pixel de uma matriz composta por microbolômetros. A superfície superior é a de absorção de infravermelho. Ela é elevada acima do substrato e isolado termicamente dos pixels adjacentes. Os circuitos de leitura localizados são tipicamente na camada de substrato, que pode ser

revestido com um material que reflete os raios infravermelhos ainda mais para aumentar a absorção do pixel (HECHT, 2012).

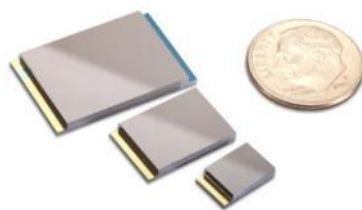


Figura 11. Comparativo do tamanho da matriz de microbolômetros e uma moeda
Fonte: <www.laserfocusworld.com>. Acesso em outubro de 2014.

A tendência das matrizes é ser cada vez menor, isto porque a baixa massa aumenta a capacidade de absorção de calor, veja a evolução do tamanho desta estrutura (Figura 11).

2.4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

2.4.1 Inovação

Inovação geralmente se refere a criar processos mais efetivos, produtos ou ideias para aumentar a probabilidade de um negócio ser bem-sucedido. Para as empresas, isso pode significar a implementação de novas soluções, criando produtos dinâmicos ou melhorando os serviços existentes. Ser inovador não significa tão somente inventar. Inovação pode significar a mudança de seu modelo de negócio para se adaptar às exigências do mercado.

Existem diferentes conceitos de inovação para os estudiosos da área. De acordo com Andreassi (2007), o verbo inovar vêm do latim *innovare* que significa criar novidades em qualquer propósito; e inovação é tornar-se novo ou renovar. Conforme Zaltman et al. (1973) a inovação pode ser entendida como uma ideia, uma prática ou um artefato material percebido como novo, relevante e único adotado em um determinado processo, área ou por toda a organização. Neste contexto, Motta (2001) afirma que:

“Inovar é introduzir a novidade de tal forma a deixar explícito que alguma tecnologia, habilidade ou prática organizacional se tornou obsoleta. Inovação traz a visão do progresso, carrega a conotação da virtude e do mais bem realizado.” (op. cit., p. 14)

O desenvolvimento de produtos (PDP) está diretamente ligado à capacidade de inovação de uma empresa. O processo de criação mantém a competência da empresa em se renovar (ANDREASSEN & HEIN, 1987).

Patterson & Fenoglio (1999) conceituam o fenômeno do “Mecanismo de Inovação” (Figura 14): se o ciclo de valor começa na entrega do produto/serviço por parte da empresa ao cliente e se finaliza com o retorno financeiro oferecido pelo cliente para obtê-lo, a corrente de rendimentos tenderá a zero à

medida que o produto vai se tornando menos atrativo ou pelo aumento da concorrência de mercado. Para que esta queda seja evitada, parte dos rendimentos deve ser revertida em novos produtos/serviços (indicado como “Investimentos em inovação” na Figura 12), renovando assim o ciclo de valor e aumentando os rendimentos.

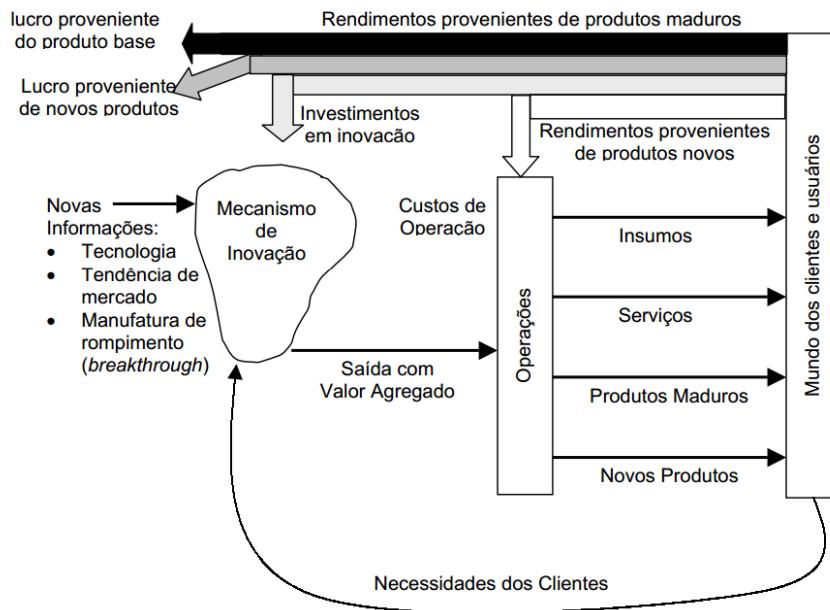


Figura 12. Mecanismo da inovação
Fonte: PATTERSON & FENOGLIO, 1999

Para a organização implementar este Mecanismo de Inovação, existem dois planos de atuação: o estratégico – que se trata do planejamento e do gerenciamento do portfólio de produtos – e o tático – que deve identificar oportunidades de inovação e novos produtos. O plano tático aponta as ideias e oportunidades para a análise dos profissionais do plano estratégico. Aquelas ideias que não são consideradas viáveis ou que não trarão o retorno esperado são consideradas “Oportunidades Descartadas” (Figura 13), já aquelas que são selecionadas serão executadas pela equipe do plano tático e acompanhadas pela do estratégico.

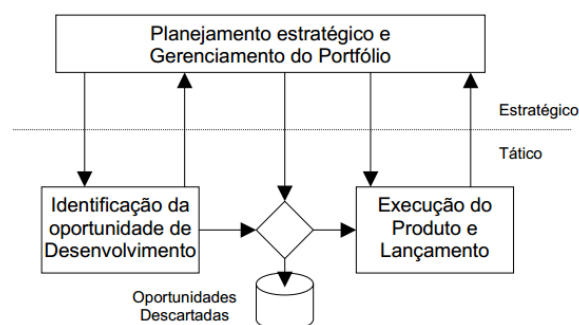


Figura 13. Mecanismo da inovação dentro da organização
Fonte: PATTERSON & FENOGLIO, 1999

Planejar novos produtos não é uma tarefa fácil. O ponto de partida se inicia na procura de novas ideias que geralmente surgem das necessidades e desejos dos clientes. Segundo Kotler (2000), a alta gerência pode utilizar técnicas especiais como *brainstorming*, caixa de sugestões e pesquisas com os clientes para identificar uma oportunidade de produto novo.

Após a coleta de um volume de ideias, deve-se focar naquela que possui maior probabilidade de sucesso. Para esta finalidade, Clark & Wheelwright (1993) inserem a ferramenta denominada “funil da inovação” para selecionar as melhores ideias a serem desenvolvidas. O funil da inovação (Figura 14) é uma ferramenta disponível para fazer a gestão da inovação direcionada para o mercado. É um método visual para lidar com novas ideias e fornece base adequada para representar, gerir e monitorar a inovação na empresa.

As ideias são filtradas por um funil que gradativamente define aquelas que concretizam produtos de sucesso. Para isso são desenvolvidas as oportunidades técnicas e de mercado iniciais que servirão para aprofundar a ideia com vista à tomada de decisão. Além de identificar as necessidades do consumidor e o seu potencial de crescimento, há a revisão da tecnologia, análise da estratégia e do custo da ideia. Por fim, decide-se qual o capital disponível para investimento e desenvolvem-se os projetos aprovados.

Essa ferramenta é utilizada paralelamente ao conceito de mecanismo da inovação de Patterson & Fenoglio (1999), os novos projetos desenvolvidos é que renovam o ciclo de rendimentos. Além disto o funil da inovação remete que ideias que seriam enviadas pela equipe tática e filtradas pela equipe estratégica, objetivando o maior retorno possível.

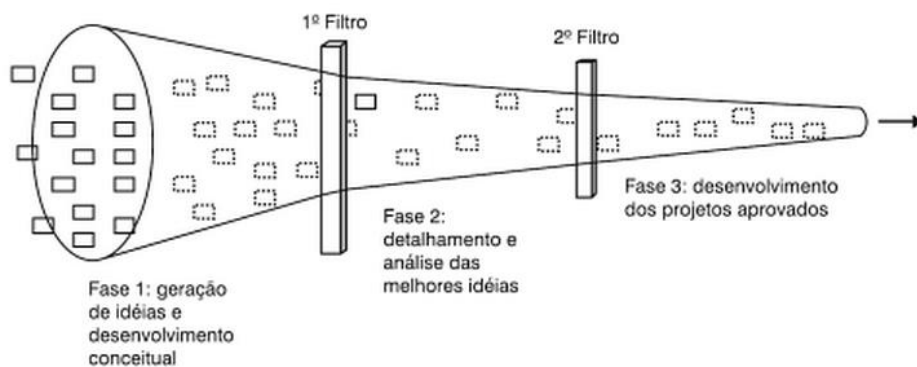


Figura 14. Processo de inovação: modelo do funil
Fonte: CLARK & WHEELRIGHT (op. cit., p. 306-307)

DYER et al. (2012) concluíram que existe um conjunto de características que diferencia os profissionais inovadores dos demais. De acordo com eles, a capacidade de gerar novas ideias não é apenas a função da capacidade cerebral mas também do desenvolvimento de comportamentos. O DNA dos Inovadores apresenta competências de descoberta e execução DYER et al. (2012). As cinco competências de descoberta cumprem um papel importante nas fases iniciais do processo de inovação, são elas (DYER et al.,2012):

- Questionar: fazer perguntas que desafiem o senso comum. O que é isso? Por que é assim? E se fosse assim? Por que não fazer diferente? são perguntas comuns utilizadas pelos inovadores.
- Observar: através da observação do comportamento dos consumidores, fornecedores, competidores e outros agentes, procura-se novas formas de fazer as coisas e mudar questionar o *status quo*.
- Trabalhar em rede: lidar com pessoas de diferentes gerações, formações que possam trazer novas perspectivas. Combinar ideias com outras pessoas de outras áreas para aprender coisas novas.
- Experimentar: realizar experimentos para testar incertezas, hipóteses e fazer surgir rapidamente *insights* e aprendizados sobre as ideias inovadoras. Experimentar permite coletar dados sobre o comportamento esperado no futuro.
- Associar: trata-se de conectar as diferentes perspectivas, questões, problemas e ideias, gerando uma nova solução que ainda não havia sido pensada. Refletir nos problemas como um grupo de peças que podem ser recombinações em novas configurações.

2.4.2 PDP

O desenvolvimento de um novo produto está diretamente ligado à inovação, seja aquela inovação do produto em si irá propor ou a que se decorreu durante o processo de desenvolvimento deste produto. Desde a fase de seleção de ideias até o desenvolvimento da nova solução diz-se que o PDP está sendo realizado pela empresa. Neste contexto, Barbalho (2006) propõe o Modelo de Referência Mecatrônico (MRM) (Figura 15) que envolve tanto o PDP quanto o processo de inovação.

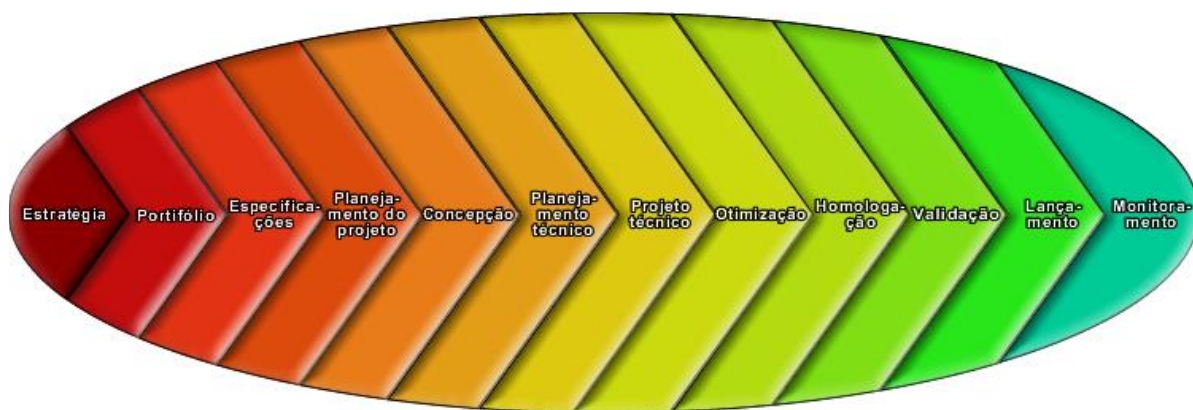


Figura 15. Fases do modelo MRM
Fonte: BARBALHO (op. cit., p. 106)

De acordo com Barbalho (2006), o formato e as cores do modelo de referência mecatrônico têm relação com riscos, esforço, lógica de realização das atividades e fluxo central.

As cores transmitem o grau de incerteza durante as fases de desenvolvimento do produto, a cor vermelha traduz uma maior incerteza e maior risco quanto aos resultados que podem ser gerados pelo projeto. O grau de insegurança maior é na fase da estratégia, já que os resultados ainda não são tangíveis e distantes de serem mensurados. A partir da fase de planejamento a incerteza diminui, momento em que já são definidos os objetivos e prazos a serem seguidos no projeto. À medida que o projeto se torna controlado e seus riscos são identificados, as incertezas dão lugar à viabilidade do projeto – simbolizada pela cor esverdeada.

O formato elíptico da Figura 15 indica que as fases centrais do MRM consomem a maior parte do tempo e esforço relacionado com o desenvolvimento de um novo produto, ou seja, no que tange às tarefas de engenharia, *marketing*, manufatura, finanças, recursos humanos, provisão de infraestrutura. Já as fases extremas demandam menos tempo que as centrais e são as fases de concepção e otimização, que demonstram a viabilidade do produto e o seu sucesso técnico e comercial (BARBALHO, 2006). O modelo de Barbalho (2006) encontra aplicação no texto em tela em função do grau de integração de tecnologias mecânica, óptica, eletrônica e de *software* de processamento de sinais que compõem uma câmera termal.

Outro modelo de referência para PDP amplamente utilizado é o proposto por Rozenfeld et al. (2006), conforme apresentado na Figura 16 ele é dividido em macrofases, subdivididas em fases e atividades:

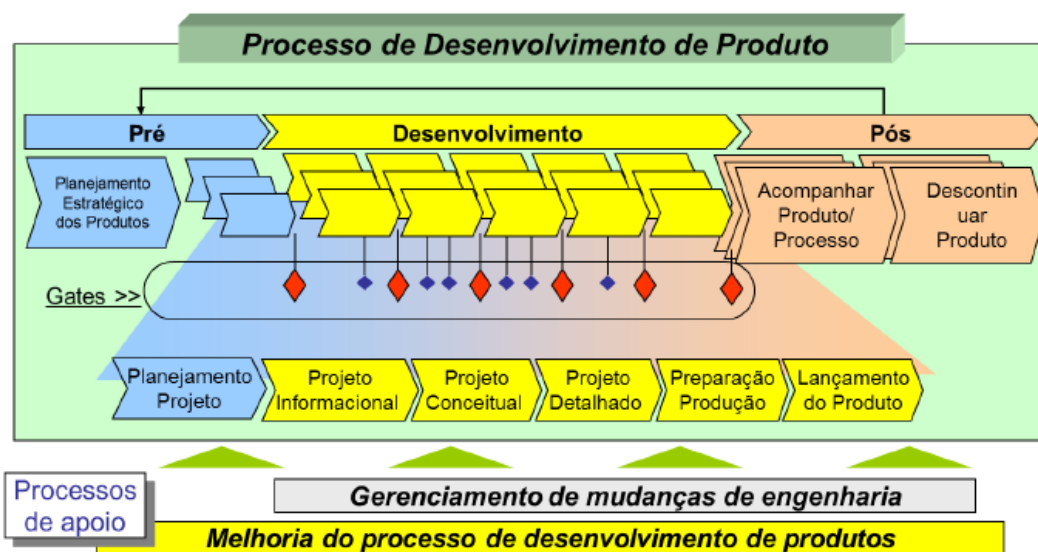


Figura 16. Modelo de referência de desenvolvimento de produtos
Fonte: ROZENFELD et al. (op. cit., p. 44)

Segundo Rozenfeld et al. (2006) para o modelo acima apresentado:

“As macrofases de pré- e pós-desenvolvimento são as mais genéricas e podem ser utilizadas em outros tipos de empresa com pequenas alterações. A macrofase de desenvolvimento enfatiza os aspectos tecnológicos correspondentes à definição do produto em si, suas características e forma de produção[...] O que determina uma fase é a entrega de um conjunto de

resultados (derivables), que, juntos, determinam um novo patamar de evolução do projeto.” (op. cit., p. 44)

A macrofase de pré-desenvolvimento tem o objetivo de avaliar as oportunidades e restrições existentes para o desenvolvimento do produto, identificar os consumidores e levantar as tendências tecnológicas e mercadológicas. Além garantir que o produto esteja de acordo com a estratégia da empresa. Esta macrofase é dividida em duas fases o planejamento estratégico de produtos – que norteia a organização quanto às tendências do setor envolvido e como ela pode se ater às suas oportunidades e dificuldades – e o planejamento do projeto – que apresenta o plano a ser seguido para realização do PDP.

A seguinte macrofase do modelo, a de desenvolvimento, tem o intuito de produzir informações específicas para o produto em questão. São informações técnicas detalhadas de produção, avaliação de protótipos, testes e finalmente o lançamento (Rozenfeld et al., 2006). Esta etapa é dividida em cinco fases.

A primeira é a fase de projeto informacional em que se definem as necessidades e requisitos dos clientes; os requisitos do produto e as especificações-meta.

A segunda fase é denominada projeto conceitual (busca gerar soluções capazes de satisfazer as necessidades dos clientes e proporcionar base para o projeto detalhado), fase projeto detalhado (traduz as especificações para encaminhamento à produção), fase de preparação da produção (definição dos processos produtivos e fabricação de um modelo para testes) e, finalmente, fase de lançamento de produto (em que o produto é introduzido no mercado, detalhando a cadeia de suprimentos necessária, atendimento ao cliente e operações de marketing).

A macrofase de pós-desenvolvimento, a terceira do modelo de referência de Rozenfeld et al. (2006), tem o tempo de duração superior ao das demais fases. Isto porque o acompanhamento do produto dura o tempo em que ele se mantém no mercado. Esta macrofase inclui, principalmente colher *feedback* do produto por meio da avaliação de satisfação do cliente e o monitoramento do desempenho técnico do produto.

A fase de projeto informacional é primordial dentro do escopo deste projeto, serão detalhadas cada uma de suas atividades nos próximos tópicos.

2.4.2.1 Definição das necessidades dos clientes

Esta é a primeira atividade realizada dentre da fase de projeto informacional. De acordo com Rozenfeld et al. (2006) a identificação dos clientes tem como objetivo definir o público alvo a que se deseja atingir. Uma vez identificados os clientes, pode ser realizada uma pesquisa de *marketing* para avaliar as demandas desses clientes.

As necessidades dos clientes devem ser identificadas de forma direta e não através de suposições (ROZENFELD ET al., 2006). Assim, evitam-se dois enganos bastante comuns: supor que o cliente deseja e valoriza determinada característica do produto à qual ele é indiferente, ou, ao contrário, desprezar aspectos que o cliente valoriza.

2.4.2.2 Definição dos requisitos dos clientes e do produto

As necessidades dos clientes, inicialmente descritas segundo a linguagem dos clientes, devem ser reescritas na forma de requisitos dos clientes (ROZENFELD et al., 2006). Requisito de cliente consiste na tradução das necessidades brutas obtidas dos diferentes clientes levadas a uma linguagem compreensível para projetistas e produtores (FONSECA, 2000). Beelich e Schiefer (1999) afirmam que o planejamento de produto é otimizado através de uma correta definição dos requisitos dos clientes reduz drasticamente o tempo de desenvolvimento de produtos.

Já a definição dos requisitos do produto são as características técnicas de engenharia que o produto deve atender e que traduzem os requisitos dos clientes (ROZENFELD et al., 2006). Para cada requisito do cliente devem ser listados quais requisitos são necessários no produto para atendê-los, estabelecendo-se assim os requisitos do produto.

2.4.2.3 Definição das especificações-meta

A definição das especificações-meta é conjunto de objetivos e metas que cada requisito do produto deve cumprir para que sejam atendidas as necessidades dos clientes (ROZENFELD et al., 2006). As principais informações de entrada para essa atividade são os requisitos do produto, obtidos na atividade anterior, ao passo que o resultado, ou entrega, é a lista de especificações-meta do produto. Nessa lista são definidos os critérios para medir o desempenho do produto final.

2.5 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DE PATENTES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Patente é um título de propriedade que confere ao seu titular o direito de impedir terceiros de explorarem sua invenção, em um determinado território, por um limitado período de tempo, em troca da descrição da invenção (AXONAL, 2014). É patenteável a invenção que atenda aos requisitos de novidade, atividade inventiva e aplicação industrial (Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI).

O estudo de patentes existentes é um passo importante durante o planejamento estratégico do produto. Apesar de um produto similar ao que está sendo desenvolvido ainda não estar no mercado a ideia já pode ter sido patenteada e se tornar inviável de ser desenvolvida pela empresa.

A pesquisa de documentos de propriedade intelectual auxilia no desenvolvimento da estratégia comercial e tecnológica da empresa. De acordo com o Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI, a busca das patentes existentes pode gerar economia de tempo, esforço e recursos financeiros e humanos e, ainda, permite que a empresa consiga identificar potenciais concorrentes.

2.6 ROADMAPPING TECNOLÓGICO

A utilização da técnica denominada *roadmapping* é outra ferramenta auxiliar no desenvolvimento de produtos. De acordo Oliveira et al. (2012):

“O *roadmapping* é uma abordagem utilizada para a identificação, definição e mapeamento das estratégias, objetivos e ações relacionados com a inovação em uma organização ou negócio.” (op. cit., p. 3)

Esta técnica integra as tecnologias de modo a se combinarem formando novas tecnologias, explorando as plataformas tecnológicas existentes e o PDP (PROBERT & RADNOR, 2003). O resultado final é um mapa, denominado *roadmap*, dividido em camadas e fácil de interpretação (Figura 17).

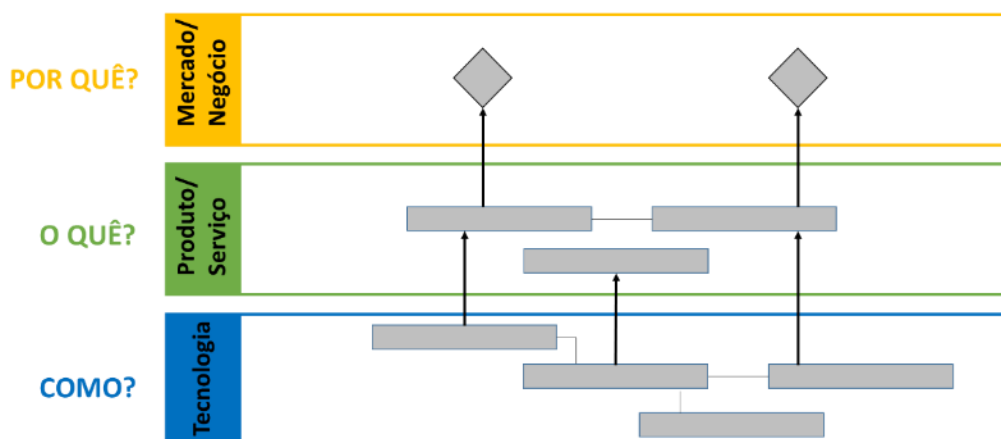


Figura 17. Arquitetura do roadmap
Fonte: Adaptado de OLIVEIRA et al. (op. cit., p.9)

As camadas do *roadmap* são orientadas para a inovação. Nelas estão contidas informações de mercado e negócios, produtos e serviços, além de tecnologia. As perguntas de cada um destes seguimentos guiam o preenchimento das camadas. O “por quê” representa a motivação da criação desta inovação que é justificada pela demanda de mercado ou objetivo de negócio. O valor entregue em forma de produtos ou serviços para o mercado corresponde a resposta da pergunta “o quê”. Por último, o “como” define quais recursos em termos tecnológicos que são necessários para entregar os produtos e serviços planejados (OLIVEIRA et al., 2012).

Segundo os mesmos autores, o maior benefício do *roadmapping* é o alinhamento entre a estratégia comercial e a tecnológica de uma empresa, bem como a identificação de novas oportunidades de negócio que exploram recursos, tecnologias e produtos para criação de inovações.

2.7 MATURIDADE TECNOLÓGICA

A tecnologia possui um ciclo de vida que determina a maturidade tecnológica. De acordo com Roussel et al. (1992), ela é dividida quatro fases: embrionária, crescimento, amadurecimento e envelhecimento (Figura 18). As quatro fases que estabelecem o ciclo da maturidade tecnológica indicam um limite natural que a tecnologia sofre no decorrer de determinado tempo.

Maturidade tecnológica	Tempo para comercialização	Conhecimento de P&D competitiva	Previsibilidade			Duração da vantagem comercial
			Técnica	Recompensa	Custos de P&D	
Fase embrionária	7-15 anos	Fraco	Fraca	Média	Insatisfatórios	Elevada
Crescimento	2-7 anos	Médio sofrível	Média	Elevada	Sofríveis	Sofrível
Amadurecimento	1-4 anos	Elevado	Elevada	Elevada	Elevados	Média
Envelhecimento	1-4 anos	Elevado	Muito alta	Muito alta	Muito altos	Curta

Figura 18. Características de P&D como uma função da maturidade tecnológica

Fonte: RUSSEL et al., 1992

A fase embrionária é quando acontece a descoberta de uma nova tecnologia, ainda não está previsível a sua utilização e não se conhecem todas as suas aplicações. Esta fase é marcada com muitas incertezas e é baseada em muitas pesquisas para a aplicação da nova tecnologia.

A fase do crescimento é definida com a diminuição dos riscos que estavam inseridos na primeira fase, mas que ainda continuam presentes, porém com uma visão mais realista do que na fase anterior.

Com o investimento e testes da tecnologia, se chega a fase madura. Os avanços tecnológicos não são mais comuns ou expressivos, e o conhecimento quanto a esta tecnologia se torna difundido mundialmente.

A última fase é conhecida como o envelhecimento da tecnologia sendo a tendência natural de uma tecnologia em razão do tempo, do crescimento da concorrência ou até mesmo criação de produtos substitutos. Os avanços comerciais são quase ínfimos e não tornam mais o produto atrativo.

2.8 ENTREVISTA COM *LEAD USERS*: OS TESTADORES DE NOVAS TECNOLOGIAS

Lead users são pessoas interessadas em testar novas tecnologias. São consumidores que estão sempre adaptando produtos existentes para atender suas necessidades e acabam se tornando mais exigentes do que o resto do mercado (HIPPEL, 1986).

Um caso atual de *lead users* é o de Nick Woodman, fundador da GoPro. Ele teve que adaptar uma câmera existente para resistir à água além de fixá-la ao corpo para filmar a si próprio praticando surfe. Woodman desenvolveu o novo produto para uso pessoal, mas depois criou uma empresa líder de mercado por sua experiência.

Desta forma, as empresas podem obter informações importantes dos *lead users* sobre a evolução do mercado e sobre necessidades ainda não manifestadas pela maioria dos consumidores. Para o processo de desenvolvimento de produtos, entrevistar este público pode ser uma fonte valiosa acerca dos requisitos necessários a fim de atingir uma boa estratégia de mercado. Se este *lead user* for ativamente identificado e consultado, ou mesmo, envolvido no processo de desenvolvimento de novos produtos, consegue-se trazer ao projeto uma visão mais pessoal de quem vive com os produtos e seus problemas em seu cotidiano.

Segundo Ulrich & Eppinger (2000) existem algumas técnicas para entrevistar *lead users* e especialistas. Para produtos industriais em geral, conseguir alguém que concorde com uma entrevista é em geral simples, pois esses clientes estão ansiosos para discutir suas necessidades. Além disso, a maioria dos consumidores estão frustrados com o fato de os produtos em geral não cumprirem com as suas necessidades - com muito mais frequência do que estão incomodados por pedidos de entrevista. “A abordagem básica é ser receptivo às informações fornecidas pelos clientes. Um guia de entrevista pré-concebido é valioso para a estruturação do diálogo” (ULRICH & EPPINGER, 2000). Utilizar estímulos visuais e adereços também são uma ótima alternativa, trazer imagens de produtos competidores, ou até mesmo produtos existentes que tem similaridade com o produto em desenvolvimento. Ao final da entrevista, pode-se mostrar alguns conceitos preliminares produto proposto para obter reações iniciais dos consumidores (ULRICH & EPPINGER, 2000).

Considera-se, no presente trabalho, que os médicos oftalmologistas mais vinculados às práticas de pesquisa científica e bons usuários de inovações são *lead users*. Um perfil adequado ao produto aqui analisado já que não há similares no mercado.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com Andrade (2001), a pesquisa científica é um conjunto de procedimentos sistemáticos, baseados no raciocínio lógico, que tem por finalidade encontrar soluções para os problemas escolhidos mediante o emprego de métodos científicos. Na visão de Ruiz (1991) a pesquisa científica é uma investigação planejada, desenvolvida e redigida de acordo com as normas da ciência. Gil (2002) define a pesquisa científica como:

“(...) o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos.” (op cit., p. 17)

As pesquisas científicas podem ser classificadas de diferentes formas. A classificação delas permite identificar qual o melhor método para realizá-la. Uma abordagem de classificação voltada para pesquisas no âmbito da Engenharia de Produção é a de Turrioni et al. (2012) estruturada pela Figura 19.

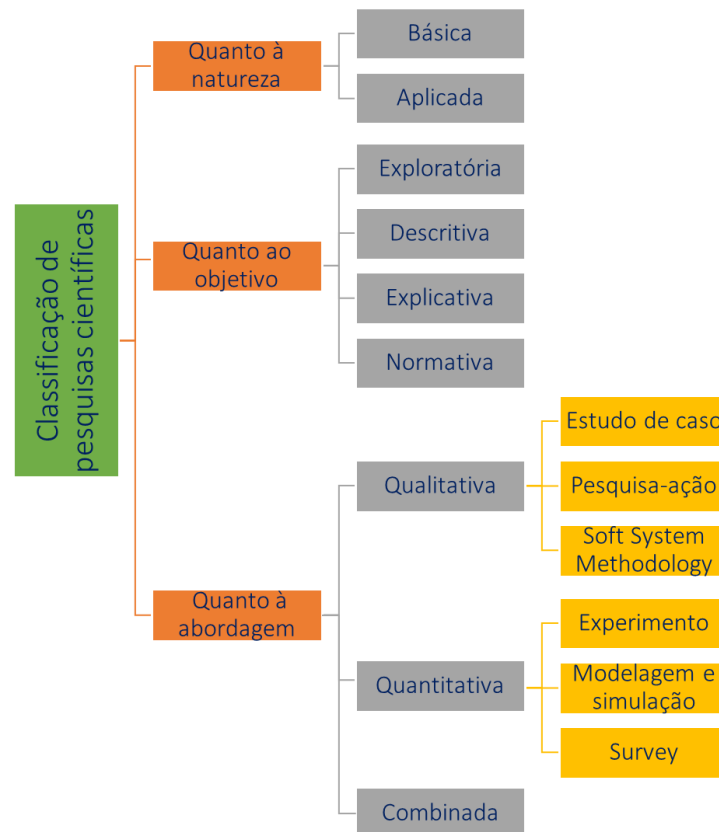


Figura 19. Classificação da pesquisa científica em engenharia de produção
Fonte: Adaptado de Turrioni et al. (op. cit., p.80)

Esta estrutura de classificação de pesquisas científica é detalhada por Azevedo (2014) de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das classificações de pesquisa

	Categoria	Descrição
Natureza	Básica	Pesquisa formal que busca a ampliação de conhecimentos teóricos sem utilizá-los na prática.
	Aplicada	Gera conhecimento para aplica-lo na prática e propor soluções de problemas específicos.
Objetivos	Exploratória	Proporciona maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito ou até mesmo desenvolvendo hipóteses.
	Descritiva	Descreve as características de determinado fenômeno ou estabelece relações entre variáveis.
	Explicativa	Identifica os fatores que determinam a ocorrência dos fenômenos, aprofundando o conhecimento da realidade.
	Normativa	Desenvolve políticas, estratégias e ações para aperfeiçoar os resultados disponíveis na bibliografia existente.
Abordagem	Quantitativa	Traduz informações e opiniões em números para efetuar sua comparação e análise, necessitando assim de recursos e técnicas estatísticas.
	Qualitativa	Se baseia na relação dinâmica entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito, atribuindo significados a partir da interpretação dos fenômenos de forma indutiva.
	Combinada	Considera que aspectos da pesquisa qualitativa e quantitativas podem ser combinados em todos ou algumas etapas da pesquisa.
Método	Experimento	Quando um objeto de estudo é determinado, selecionado as variáveis que o influenciam.
	Modelagem e Simulação	Quando, por meio de modelo, se experimenta um sistema real e as alterações a ele proposto.
	Survey/ Levantamento	Quando envolve interrogação direta de pessoas cujo comportamento se deve conhecer.
	Estudo de Caso	Estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, gerando um amplo e detalhado conhecimento.
	Pesquisa-ação	Quando é realizada uma associação com uma ação ou com a resolução de um problema, envolvendo os participantes de forma cooperativa.
	Soft System Methodology	Formulação e estruturação do pensamento sobre os problemas em contextos complexos, construindo modelos conceituais e comparando-os ao mundo real.

Fonte: Adaptado de AZEVEDO (op. cit., p. 13)

A Figura 20 mostra a classificação deste objeto de estudo de acordo com a Tabela 1.

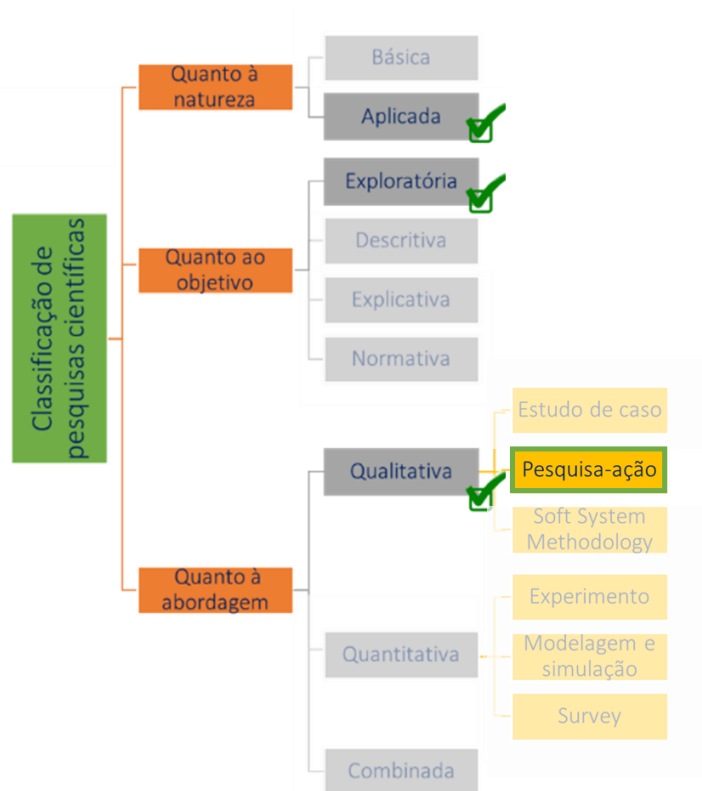


Figura 20. Classificação da pesquisa em questão
Fonte: Próprio autor (2015)

Quanto à natureza, esta pesquisa é classificada como aplicada, já que objetiva propor uma alternativa específica de exame auxiliar no diagnóstico do glaucoma, transferindo o conhecimento envolto ao processo em uma perspectiva de novo produto. Quanto ao objetivo, é uma pesquisa exploratória, já que serão apresentadas hipóteses de solução além de envolver o levantamento bibliográfico. Ela é qualitativa quanto à abordagem porque se trata de uma pesquisa analítica, ou seja, desenvolvem-se conceitos e entendimentos a partir de dados, ao invés de coletar dados para comprovar teorias pré-concebidas.

Após classificar o tipo de pesquisa científica, o método a ser desenvolvido mais apropriado foi a pesquisa-ação. Para Vergara (2005) pesquisa-ação como é uma estratégia de pesquisa que objetiva solucionar problemas por meio de ações definidas por pesquisadores e sujeitos envolvidos com a situação sob investigação.

Desta forma, este projeto de graduação é uma pesquisa-ação que objetiva testar hipóteses sobre um novo tipo de produto contando com a participação e contribuição de oftalmologistas especialistas.

3.2 MODELO METODOLÓGICO

O propósito desta pesquisa é analisar a viabilidade da criação de um exame alternativo com tecnologia de imagem térmica para o auxílio do diagnóstico do glaucoma. O procedimento metodológico deste estudo foi desenvolvido com apoio dos modelos de referência de Barbalho (2006) e Rozenfeld et al. (2006) e, assim, foram definidas as entregas de cada etapa (Figura 21).



Figura 21. Adaptação dos modelos de referências de Barbalho (2006) e Rozenfeld et al. (2006)
Fonte: Próprio autor (2015)

Conforme a Figura 21, neste trabalho será realizada uma primeira etapa composta pela a fase da Estratégia, proposta por Barbalho (2006), e a fase de Planejamento estratégico do produto, proposta por Rozenfeld et al. (2006).

A fase de portfólio do modelo de Barbalho (2006) não foi utilizada nesta metodologia pois tem por objetivo apresentar uma linha de produtos para determinada empresa. Trata-se de um estudo da linha de produtos de uma organização e da definição de produtos que visam compor seu portfólio de acordo com sua estratégia. Como este trabalho não está propondo um produto para uma empresa específica e sim analisando de uma maneira geral sua viabilidade tecnológica e mercadológica, esta fase não foi aqui inserida.

3.2.1 Estratégia: Planejamento estratégico do produto

Nesta etapa (Figura 22) são apresentadas as informações de tecnologia e mercado e, na sequência, tais informações serão usadas definir a oportunidade da formulação do novo produto e direcionar a análise de patentes existentes para o planejamento do produto.

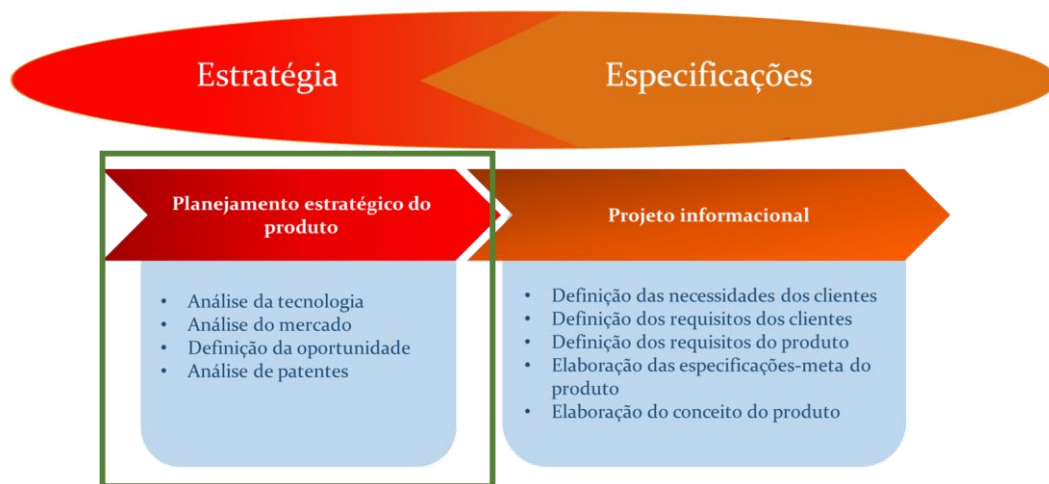


Figura 22. Metodologia: primeira etapa
Fonte: Próprio autor (2015)

- **Análise da tecnologia**

Para a análise da tecnologia foram levantados exames médicos que utilizam hoje como base a imagem térmica que serviram como *benchmarking* tecnológico. Além disto, também foram listados os atuais exames oculares para a detecção do glaucoma.

- **Análise do mercado**

A análise do mercado consistiu no levantamento em números de glaucomatosos no mundo. Para isso, foram utilizadas bases de dados de mercado nacionais e internacionais disponíveis *on-line*. Dentre o que foi pesquisado destacam-se a previsão de crescimento do número de glaucomatosos no mundo e no Brasil; as características predominantes de quem é atingido pela doença e quais as suas relações com a população brasileira. Ainda foram analisadas as projeções de vendas das tecnologias das câmeras térmicas, bem como suas aplicações gerais e preços de mercado.

- **Definição da oportunidade**

A definição da oportunidade é feita após a identificação da demanda que advém da análise de mercado e da tecnologia que compõe a proposta do novo produto. Mostra-se que o cenário para o desenvolvimento é favorável. Além disso, é mostrado a partir de experimentos realizados por outros pesquisadores que a PIO elevada reflete na diminuição da temperatura ocular. Este fato é que norteia o desenvolvimento de um produto para diagnóstico do glaucoma via imagem térmica.

- **Análise de patentes**

As patentes foram pesquisadas nas bases nacionais e internacionais e foram listadas aquelas que são convergentes ao tema.

3.2.2 Especificações: Projeto informacional

A segunda etapa (Figura 23), contém a fase de Especificações do produto de Barbalho (2006) e a fase do Projeto informacional de Rozenfeld et al. (2006). Nesta etapa há a indicação das necessidades e requisitos dos clientes; definição dos requisitos do produto com base nos requisitos dos clientes e, por fim, as especificações-meta do produto e seu conceito.

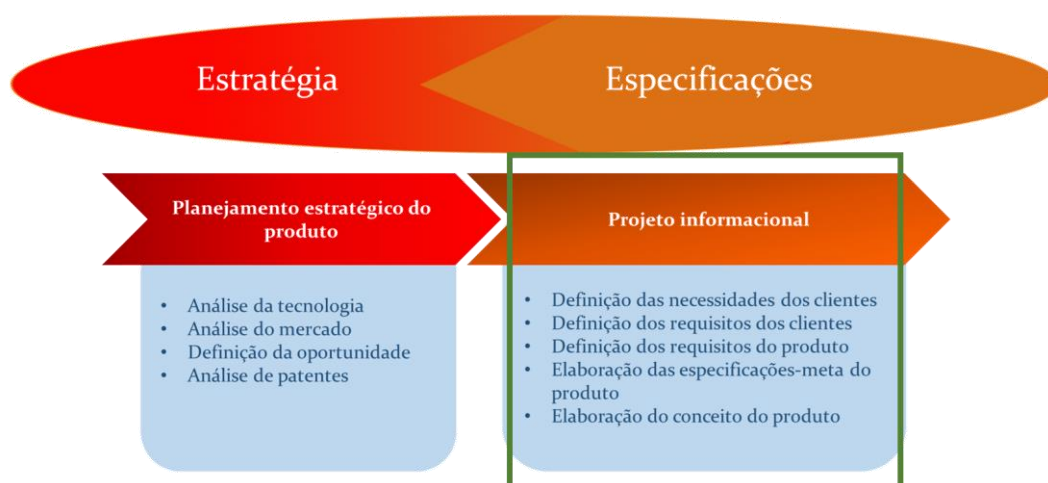


Figura 23. Metodologia: segunda etapa
Fonte: Próprio autor (2015)

• Definição das necessidades dos clientes

As necessidades dos clientes foram levantadas por meio da aplicação de um questionário *on-line*. Ele foi enviado via *e-mail* para aproximadamente 70 especialistas, porém somente 11 retornaram e apresentaram suas opiniões a respeito dos produtos existentes para detecção do glaucoma e da nova proposta de exame alternativo via imagem térmica. Os respondentes foram escolhidos para participar da análise por terem publicado pesquisas sobre tema ou também por terem sido indicados pelos próprios médicos à medida que respondiam o questionário (existia um campo em que era possível indicar um contato que o respondente achasse interessante para participar da pesquisa). Foi desenvolvido um explicativo básico do tipo folder *on-line* para explicar a proposta de exame a estes especialistas (APÊNDICE I) e em seguida, os especialistas foram direcionados para um formulário disponível na plataforma Typeform (APÊNDICE II).

Também foi realizada uma entrevista pessoal com um oftalmologista do Hospital Universitário de Brasília para validação da proposta. Foi utilizado o mesmo explicativo como roteiro para essa entrevista, além das respostas dos questionários aplicados com os especialistas. Isso também possibilitou que fossem retiradas dúvidas das questões levantadas pelos especialistas nos questionários pelo próprio médico na entrevista. Ademais foram visitados consultórios e

experimentou-se exame denominado tonometria para entender melhor como o novo produto poderia oferecer benefícios em relação ao existente. Desta forma, foi possível coletar as necessidades do cliente necessárias para que o novo exame atenda de forma mais eficiente a população.

- Definição dos requisitos dos clientes

Após levantadas as necessidades dos clientes, foram agrupadas as necessidades que tinham afinidade. Assim, determinou-se os requisitos do cliente que representam um grupo de necessidades.

- Definição dos requisitos do produto

Os requisitos do produto foram desdobrados dos requisitos dos clientes. Eles refletem às características necessárias que o produto deve ter para que sejam atendidos os requisitos dos clientes.

- Elaboração das especificações-meta do produto

Cada requisito do produto foi valorado. Desta maneira, cada requisito possui uma meta a ser atendida e serve como plano diretor na produção do novo produto. Essas métricas foram baseadas nos manuais dos fabricantes de câmeras térmicas e foram definidas as mais avançadas disponíveis no mercado.

- Elaboração do conceito do produto

Apresentou-se três modelos de conceito de produto via imagem térmica que podem ser utilizados para desenvolvimento deste produto. Ele é um complemento às especificações-meta que propõe traduzir visualmente a especificação do produto.

Este modelo foi adaptado para melhor atender aos requisitos de um projeto universitário observando as limitações de custos e materiais disponíveis. Desta forma, as fases de projeto conceitual, projeto detalhado, preparação para produção, lançamento do produto e a macro fase de pós-desenvolvimento do produto empregados no modelo de Rozelfed et al. (2006) não fazem parte do escopo desta pesquisa, visto que o objetivo do trabalho não é o produto físico concebido, mas a análise de sua viabilidade tecnológica e comercial.

3.3 COMITÊ DE ÉTICA

Como este projeto contou com a entrevista de médicos especialistas, ele foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade de Brasília que tem por objetivo validar pesquisas na área da saúde. O processo ainda está em andamento, portanto aguarda-se ainda o parecer do comitê.

4 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO PRODUTO

O planejamento estratégico de produto detecta tendências emergentes de mercado, de tecnologia e oportunidades de um determinado setor. Neste capítulo serão apresentadas as tendências tecnológicas para os exames ópticos e via imagem térmica, as tendências de mercado e a análise da oportunidade para o novo produto de diagnóstico do glaucoma.

4.1 ANÁLISE DA TECNOLOGIA

4.1.1 Exames atuais via imagem térmica

Logo após sua descoberta, a imagem térmica ainda não era amplamente utilizada como nos dias de hoje. Após a Segunda Guerra Mundial os bolômetros começaram a ser utilizados para obter imagens térmicas apenas para o uso militar. Em 1956 um médico canadense chamado Lawson observou que a presença do câncer de mama poderia ser detectada pelo aumento da temperatura da pele mediante a imagem formada por bolômetros (LAWSON, 1956). A partir de então, este dispositivo foi estudado e desenvolvido para o uso em diversas áreas da medicina. A Figura 24 apresenta o corpo humano visto em por uma câmera térmica em pontos distintos. Quanto maior a temperatura, maior a radiação infravermelha. As cores avermelhadas indicam áreas mais quentes e as azuladas as mais frias.



Figura 24. Imagens térmicas utilizadas para identificar anomalias no corpo humano
Fonte: Adaptado de < www.wellness-institute.ca>. Acesso em março de 2015.

A seguir serão apresentadas algumas patologias e exemplos de exames via imagem térmica para sua detecção.

4.1.1.1 Câncer de mama

O câncer de mama é o câncer não cutâneo mais incidente em mulheres. Os tipos de exames do câncer de mama incluem o exame clínico utilizado em imagem térmica denominado termografia. A termografia ou imagem térmica por infravermelho é um sistema não invasivo de avaliação da temperatura corporal através da medida de radiação infravermelha emitida pela superfície corporal. Segundo o Instituto Nacional do Câncer – INCA (2008) os tumores comumente apresentam aumento no suprimento sanguíneo, angiogênese e aumento na taxa metabólica, gerando aumento de temperatura comparados com tecido normal. A imagem térmica (Figura 25) de uma paciente que apresenta tumor maligno na mama esquerda. Quanto maior a temperatura, maior a radiação infravermelha, as cores avermelhadas indicam áreas mais quentes se comparadas às esverdeadas e amareladas. Já as áreas esbranquiçadas são ainda mais quentes que as avermelhadas e emitem maior radiação.

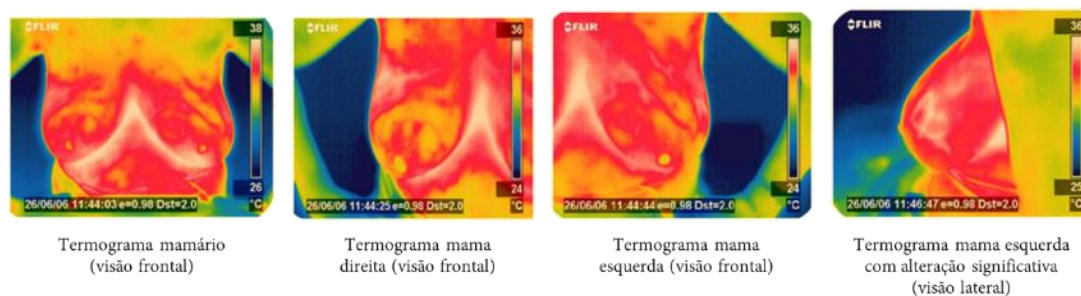


Figura 25 - Imagem térmica para detecção de câncer

Fonte: Adaptado de BEZERRA, 2007

O aparelho utilizado para a termografia mamária utiliza como fonte uma câmera térmica que capta a radiação infravermelha emitida pela região torácica da paciente e transforma em uma imagem computadorizada disponível em um visor digital para ser analisada por um especialista.



Figura 26. Termografia mamária

Fonte: <www.spectronir.com> e <www.healthylifeessex.co.uk>. Acesso em abril de 2015.

Spitalier et al. (1982) apud Brioschi (2011) acompanharam 61 mil mulheres por meio da termografia por um período de 10 anos. A sensibilidade e especificidade alcançada com o processo foi de 91% de tumores malignos não-palpáveis. Dos que não apresentavam câncer não-palpável, a termografia foi o único teste positivo quando comparado com mamografia e ultrassonografia. Em 53% desses pacientes a termografia apontou o tumor no momento da avaliação inicial.

Gros et al. (1971) apud Brioschi (2007) avaliaram uma base com 58 mil mulheres em que apresentavam termografia de mamas saudáveis, mas conforme o tempo os termogramas se tornaram atípicos em um período de 12 anos: 44% desenvolveram tumores malignos no prazo de 5 anos, afirmando que um termograma anormal é o principal indício do desenvolvimento futuro de um câncer da mama, com um valor preditivo de 94%.

4.1.1.2 Síndrome miofacial

A síndrome miofacial é caracterizada pela presença de pontos gatilhos que causam dores musculares. Os pontos de gatilho (PG) são áreas bem delimitadas, podendo manifestar como um nódulo ou contração do músculo. Estes pontos, quando estimulados, causam uma dor em uma área que pode ser distante do local (YENG et al., 2003). O tratamento consiste na identificação do PG podendo ser indicado o uso de medicamentos ou acupuntura. Apesar de ser diagnosticada por um exame físico, muitas vezes o paciente é submetido à uma termografia para poder identificar o local dos PG. A Figura 27 apresenta a imagem térmica de um paciente com síndrome miofacial antes e depois do tratamento.

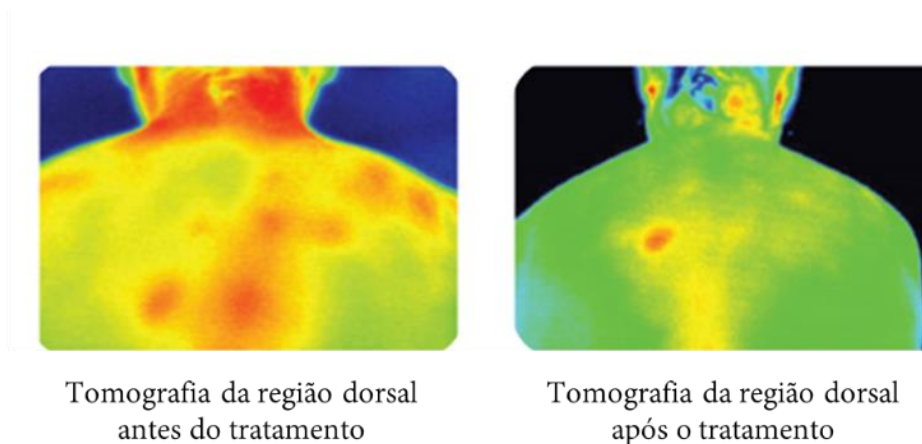


Figura 27. Imagem térmica da região dorsal antes e depois do tratamento
 Fonte: Adaptado de BALBINO & VIEIRA, 2005

A tomografia apresentou uma mudança térmica localizada na região da nuca e o ponto de gatilho na região do trapézio inferior do paciente, este é um importante método permite avaliação inicial sem contato com o paciente, no caso de dor intensa pode orientar o exame físico para as áreas mais acometidas (BALBINO & VIEIRA, 2005).

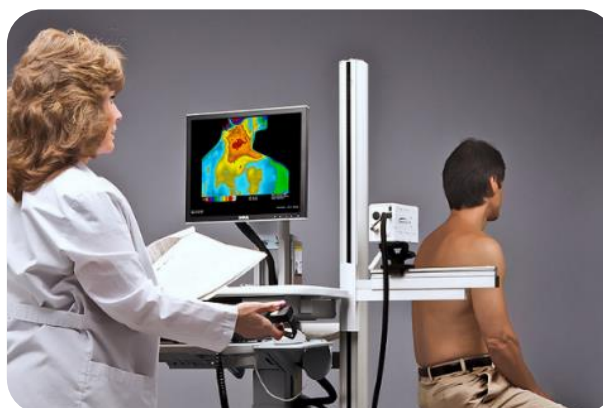


Figura 28. Exame termográfico para diagnóstico da síndrome miofacial
 Fonte: <www.spectronir.com>. Acesso em abril de 2015.

O equipamento utilizado para identificar os pontos de gatilho da síndrome miofacial é similar ao utilizado na termografia mamária: a região a ser analisada no paciente é direcionada ao campo de captura da câmera de imagem térmica para a geração das imagens digitais (Figura 28).

4.1.1.3 Doenças reumáticas

A inflamação é um dos sinais mais importantes da reumatologia, independente da patogênese. Uma característica comum das inflamações são o inchaço, vermelhidão e aumento da temperatura. A imagem infravermelha (IR) é um artifício diagnóstico indolor capaz de quantificar objetivamente por imagem as reações inflamatórias locais do sistema musculoesquelético (BRIOCHI et al., 2007). A característica

das doenças reumatóides é a hiperemia, que é um aumento da quantidade de sangue circulante num determinado local, ocasionado pelo aumento do número de vasos sanguíneos funcionais. Quanto maior a circulação sanguínea, maior a pressão e aumento da temperatura. Desta forma é comum utilizar a imagem térmica para detecção de doenças como artrite, osteoporose, lúpus e até mesmo a LER (lesão por esforço repetitivo).

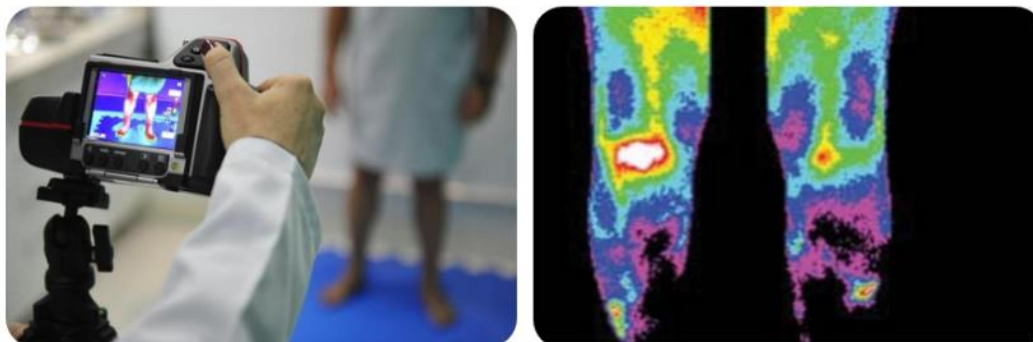


Figura 29. Imagem térmica para identificação de artrite reumatoide
Fonte: BRIOCHI et al. (2007) e <www.zh.clicrbs.com.br>. Acesso em abril de 2015.

A Figura 29 apresenta o joelho esquerdo de um paciente diagnosticado com artrite reumatoide, a cor avermelhada apresenta uma diferença de 3° C em relação ao joelho oposto. A assimetria de temperatura entre os dois joelhos indica uma possível inflamação naquele com maior incidência de luz. Uma câmera térmica é posicionada em frente ao paciente e, no mesmo momento, gera o termograma facilitando o rápido diagnóstico.

4.1.2 Exames oculares

O número de instrumentos que auxiliam no diagnóstico do glaucoma vem aumentando nos últimos anos. Principalmente no que se refere ao uso de imagens das estruturas do globo ocular, novos aparelhos têm desempenhado um bom papel no auxílio de detecção da doença no estágio inicial, antes mesmo das lesões perimétricas usais deste mal. Estas evoluções tecnológicas têm impactado no tratamento precoce do paciente já que usualmente o glaucoma só é identificado quando aproximadamente 40% das células ganglionares retinianas já foram lesadas (QUIGLEY et al., 1982).

4.1.2.1 Tonometria

A tonometria é um exame oftalmológico que possui o intuito de medir a pressão intraocular (PIO). Deve ser realizada periodicamente para o acompanhamento e para o diagnóstico prévio de complicações da visão. Para o glaucoma, este exame é primordial e é o primeiro a ser realizado em pacientes com a suspeita da doença. Conforme já foi apresentado, quando a PIO está acima ou igual à 21 mmHg é considerado um fator de risco de propensão de desenvolvimento da doença. A redução da PIO é o único tratamento cientificamente comprovado capaz de conter a evolução da doença.

Atualmente existem dois tipos de tonômetros para a realização deste exame: de aplanção e de sopro. O tonômetro de aplanção (Figura 30), popularmente conhecido como Tonômetro de Aplanção de Goldman (TAG), é o método mais acurado para medir a PIO. Para a realização do exame, o paciente deve repousar o queixo e a testa em suportes do aparelho oftalmológico apropriado, o tonômetro é encostado no olho e levemente forçado contra ele. Esse tipo de medição é feito com a aplicação local de um colírio anestésico e só pode ser realizado por médico oftalmologista.

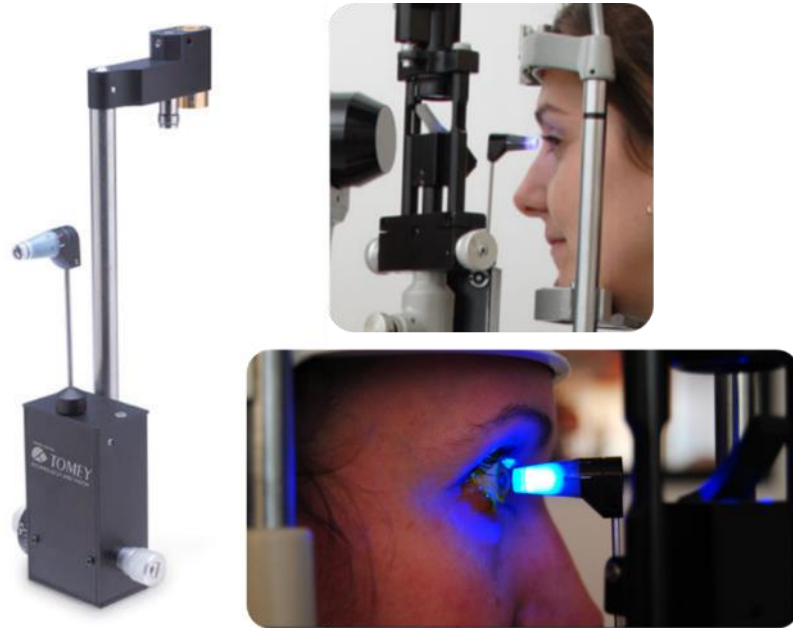


Figura 30. Tonometria de aplanção

Fonte: <www.medicalexpo.es> e <killinglyyecare.com>. Acesso em junho de 2015.

Quando Goldman criou o TAG, ele reconheceu que alguns fatores, como a resistência à deformação corneana poderiam influenciar na medida da pressão (GOLDMANN & SCHMIDT, 1961). Entretanto, a acurácia da tonometria de aplanção de Goldman foi pouco questionada até recentemente. Tem sido observado, entretanto, que a medida da PIO obtida pelo TAG pode ser subestimada em córneas finas, e superestimadas em córneas espessas (EHLERS et al., 1975). Uma biometria corneana é indicada para medir os valores de espessura da córnea do paciente e verificar se é necessária alguma compensação na medida de Goldman.



Figura 31. Tonometria de sopro

Fonte: < www.main-line.co.uk > e < www.perspectiveopticians.co.uk >. Acesso em junho de 2015.

O tonômetro de sopro ou sem contato (Figura 31) aplaina a córnea pela emissão de um jato de ar. A anestesia tópica é dispensável. Sua acurácia, porém, diminui nas pressões mais elevadas e em olhos com córneas irregulares. Seu uso geral é para triagem. Ele não deve ser utilizado para diagnóstico e para acompanhamento de pacientes com suspeita ou existência confirmada de glaucoma (Sociedade Brasileira do Glaucoma, 2005). É um exame que pode ser realizado por técnico.

4.1.2.2 Retinografia e angiografias

Retinografia é uma técnica de exame que consiste em observar e registrar fotografias da retina, do nervo óptico e do fundo do olho. Ela permite obter diversas fotos em alta resolução, possibilitando um acompanhamento da evolução de lesões que existam nessas estruturas. Já a angiografia permite visualizar a retina e a coróide (membrana vascularizada que envolve parte da retina e torna a câmara posterior um local escuro) por meio de um contraste intravenoso. Diversas anomalias da retina como traumas, doenças ou alterações surgidas podem ser identificadas com a retinografia e a angiografia (MODUGNO apud DANTÉS & SIQUEIRA, 2004).

Para as retinografias existem dois tipos distintos deste exame (Figura 32): as coloridas ou as anerítas (monocromáticas). Para as angiografias, as fluoresceínicas ou as de indocianina verde (IG).

A retinografia captura a imagem da retina no espectro visível podendo ser uma imagem colorida ou monocromática. Para as retinografias coloridas, o filtro de iluminação abrange o espectro visível (entre 400 e 700 nanômetros) e são bloqueados os comprimentos de onda infravermelhos (acima de 700nm) e ultravioletas (abaixo de 400nm). Já as retinografias anerítas produzem uma imagem em preto-e-branco, este exame não é realizado em todo o espectro visível, a retina é iluminada sem o espectro da cor vermelha (entre 600 e 700nm), além de também filtrar as ondas infravermelhas e ultravioletas. Este filtro transmite apenas a faixa que compreende o verde (entre 500 e 580nm). Mesmo a imagem sendo iluminada com verde, é convertida para tons de cinza via *software* (MODUGNO, 2008).

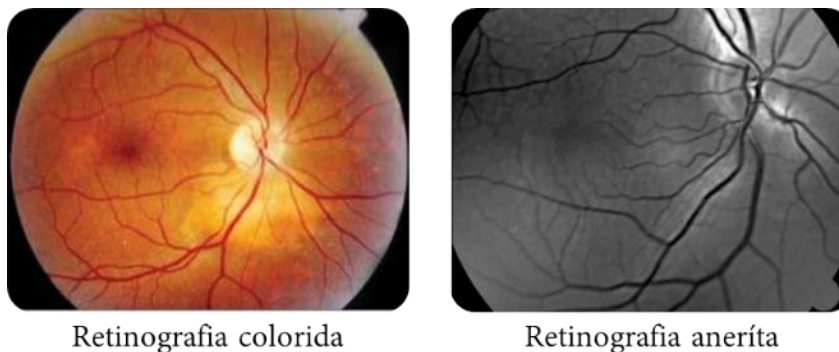


Figura 32. Retinografia colorida e anerita

Fonte: Adaptado de <www.aptomed.com.br> e MODUGNO (op. cit., p. 41). Acesso em junho de 2015.

A angiografia fluoresceínica forma a imagem da retina e coroide após a injeção de um contraste no paciente (Figura 33). Este artifício é responsável por destacar os vasos sanguíneos. Assim é possível observar a dinâmica da circulação de sangue na retina. O contraste utilizado é a fluoresceína sódica ($C_2OH_10N_2O_5$) a qual absorve energia eletromagnética a um comprimento de onda de 485nm e reemite em forma de energia luminosa com pico de onda 525nm. Essa luminescência permanece por pouco tempo. A faixa de espectro utilizada é azul para este exame (MODUGNO, 2008).



Figura 33. Injeção do contraste no paciente antes de realizar a angiografia fluoresceínica

Fonte: <www.iofs.com.br>. Acesso em março de 2015.

A indocianina verde ($C_{43}H_{47}N_2NaO_6S_2$) também é utilizada como contraste. Neste caso o exame de angiografia ocorre com o filtro que seleciona o espectro infravermelho permitindo que as estruturas anteriores à retina sejam visíveis (Figura 34). Neste caso o comprimento de ondas está próximo a 800nm e o pico de fluorescência está a 835nm (MODUGNO, 2008).

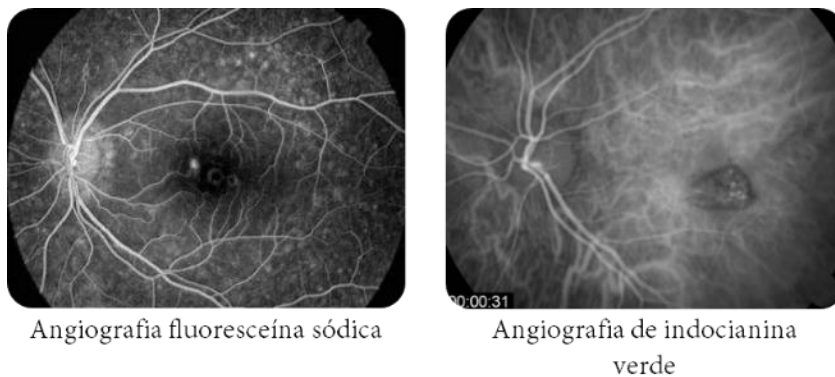


Figura 34. Tipos de angiografia
 Fonte: Adaptado de MODUGNO (op. cit., p.44-46)

Tanto para a retinografia, como para a angiografia o aparelho em que são realizados os exames é o retinógrafo (Figura 35).



Figura 35. Retinógrafo
 Fonte: Adaptado de <www.aptomed.com.br> e <www.hospitalsantaluzia.com.br>. Acesso em março de 2015.

O princípio do retinógrafo é o mesmo de uma câmera digital, ele transforma a luz emitida (fótons) em elétrons e estes geram o sinal elétrico necessário para gerar a imagem digital (Figura 36).

Funcionamento de um retinógrafo

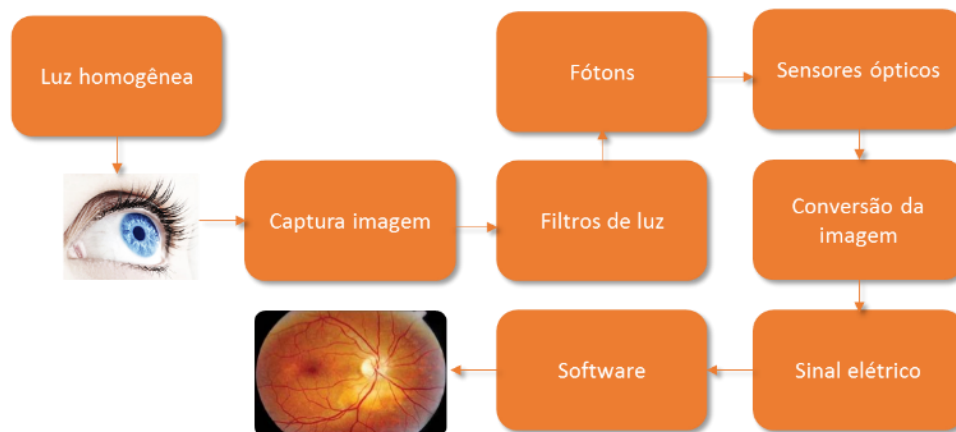


Figura 36. Esquema prático do funcionamento do retinógrafo

Fonte: Adaptado de <www.tecsistemasbiomedicos.blogspot.com.br>. Acesso em março de 2015.

Os sensores que fazem esta conversão são geralmente os de imagem CCD (dispositivo de carga acoplada) cuja característica principal é de formar imagens de alta qualidade e pouquíssimo ruído.

4.1.2.3 Estereoscopia (estereofotografia) de papila

A fotografia estereoscópica de papila (Figura 37) é um procedimento de geração de imagem com efeito de profundidade capaz de mostrar com mais perfeição anormalidades não percebidas com fotografias comuns do globo ocular. As imagens são feitas do disco do nervo óptico para melhor visualizar a retina e nervo óptico. Este exame tem como objetivo principal a documentação e o auxílio diagnóstico de alterações do nervo óptico, como forma, contorno, relevos, tamanho, coloração, sendo muito empregado para seguimentos e avaliação de pacientes com glaucoma. No glaucoma a perda de tecido neural é nítida e a estereofotografia é um exame que permite a visualização das anomalias típicas desta doença no disco óptico.



Figura 37. Imagem formada pela estereoscopia de papila

Fonte: <www.visumretina.com.br>. Acesso em março de 2015.

O equipamento utilizado para realizar este exame é o mesmo da retionografia e angiografia, o retinógrafo apresentado na secção anterior.

4.1.2.4 Topografia de disco óptico

O exame de topografia de disco óptico é realizado principalmente em pacientes que já possuem glaucoma ou estão com suspeita da doença, uma vez que ele permite visualizar e mensurar variações de espessura da retina, o tamanho das escavações do nervo óptico. O *software* do exame compara as medidas obtidas do paciente com dados normativos da mesma faixa etária e etnia.

A escavação é uma depressão que se encontra na região da cabeça do nervo óptico. Esta escavação do nervo óptico tem um tamanho de até 0,5 nos pacientes sem glaucoma. Quando essa escavação tem o valor entre 0,6 e 0,7 (limite limítrofe) é possivelmente anormal e aumenta a suspeita de glaucoma. Em estágios muito avançados do glaucoma essa escavação pode chegar a 0,9 e 1,0. Estas escalas de valores de escavação são uma proporção entre o tamanho da escavação com tamanho do disco do nervo óptico (Figuras 38 e 39).

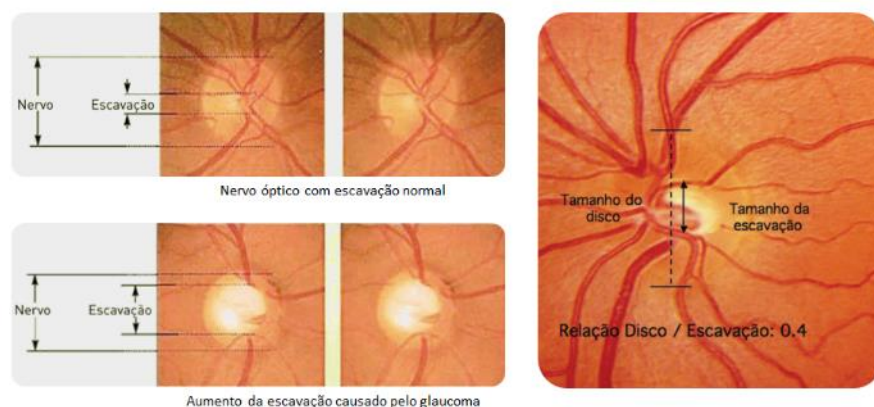


Figura 38. Escavação do nervo óptico

Fonte: Adaptado de < www.memorialoftalmo.com.br > e < www.ofthalmologiausp.com.br >. Acesso em março de 2015.

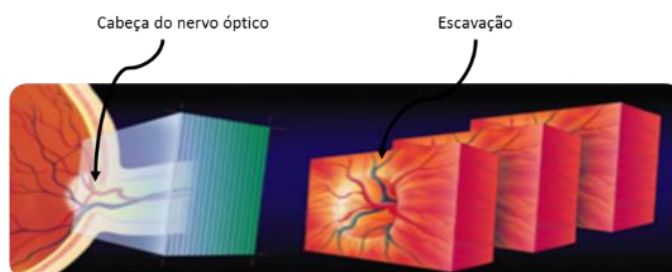


Figura 39. Fundamento do exame de topografia de disco óptico
Fonte: Adaptado de < www.goodvision.ca >. Acesso em março de 2015.

Para este exame utiliza-se o equipamento denominado HRT, *Heidelberg Retina Tomograph*, que detecta mudanças topográficas no disco óptico e na retina por meio da formação de imagens digitais. A imagem é formada a partir de camadas em que a primeira se refere aos vasos sanguíneos e a última à porção mais profunda da área de escavação

Além da imagem, o exame HRT classifica o grau de severidade da escavação de acordo com o índice de classificação de Regressão de *Moorfields* em: limites normais, limítrofe e fora dos limites normais.

Na imagem formada é possível apresentar os pontos irregulares na escavação de acordo com a classificação da Regressão de *Moorfields*. Na Figura 40, o verde representa que os limites estão normais, o amarelo limítrofe e o vermelho é fora dos limites normais.

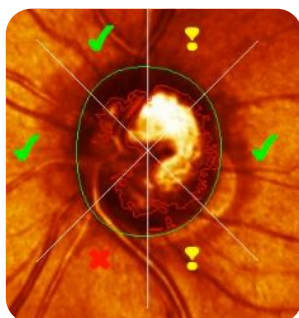


Figura 40. Imagem formada pelo exame HRT de um paciente com olho glaucomoso com as demarcações da escala de *Moorfields*

Fonte: <www.iglaukom.com>. Acesso em março de 2015.

Para se obter um resultado, o aparelho projeta anéis luminosos que passam por uma lente e iluminam o fundo do olho (Figura 41), capturando a imagem e repassando para um computador, que apresenta o resultado calculado por um mapa, especificando cada região com diferentes cores (WEBB et al., 1987).



Figura 41. Topografia de disco óptico com o aparelho HRT

Fonte: Adaptado de <www.jonesvision.com>, <www.augenklinik-duisburg.de> e <www.bellevilleoptical.com>. Acesso em março de 2015.

O exame HRT é considerado primordial para pacientes com glaucoma, de acordo com Chauhan et al. (2001) apud Dias (2009), “... 77 pacientes glaucomatosos por período médio de 5,5 anos, reportaram que 40% tiveram o diagnóstico de progressão da doença somente pelo HRT[...]”.

4.1.2.5 Tomografia de coerência óptica (OCT)

A Tomografia de Coerência Óptica (OCT) é um exame de imagem não invasivo que produz imagens de corte seccional das estruturas oculares com alta resolução. A OCT é capaz de medir a luz refletida de tecidos biológicos e gerar imagens em cortes, como os tomógrafos (COSTA et al., 2004).

Este exame baseia-se na emissão de um feixe de luz de comprimento de onda entre 800 a 1400 nm, infravermelho próximo, que atravessa o tecido. Então é coletada a luz refletida do tecido, medindo o atraso do tempo de reflexão. O tempo de resposta para reflexão de camadas mais profundas é maior que o de camadas mais superficiais, estas camadas refletidas formam a imagem (Figura 42). Assim, as microestruturas da retina são desenhadas em duas dimensões com uma falsa escala de cores.

A tomografia de coerência óptica tem sua aplicabilidade na propedêutica do glaucoma através da avaliação da camada de fibras nervosas da retina. Muitos estudos demonstraram uma boa capacidade da OCT em diferenciar olhos com e sem glaucoma, já que nesta patogênese os tecidos são geralmente danificados. O *software* reconhece o local exato dos traumas e se pode fazer uma análise da progressão das patologias de retina e da perda das camadas de fibras nervosas no glaucoma.

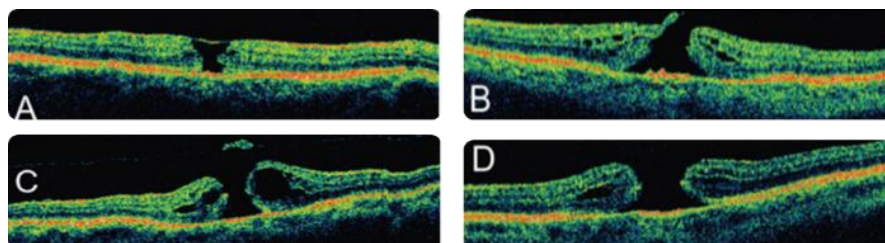


Figura 42. Exemplo de evolução do buraco macular ao longo do tempo pelo exame OCT
Fonte: Adaptado de <www.hojf.com.br>. Acesso em março de 2015.

O equipamento utilizado para o exame OCT capta a luz refletida pela retina e quantifica a espessura da camada de fibras nervosas retinianas, gerando imagens tomográficas de alta resolução das microestruturas oculares (Figura 43).



Figura 43. High Definition Spectral Domain Cirrus (OCT)

Fonte: Adaptado de <www.dragarwal.com> e <www.doctorvision.com>. Acesso em março de 2015.

O resultado é uma imagem que contém os tecidos biológicos da retina, podendo ser avaliados praticamente todas as suas camadas.

4.1.2.6 Campimetria

A campimetria é um exame em que o paciente deve apertar um botão toda a vez que visualizar um ponto de luz que é emitido pelo campímetro em diferentes intensidades e em diversos lugares da cúpula (Figura 44). Esta técnica tem como resultado um mapa do campo de visão que permite, principalmente, avaliação do funcionamento da visão periférica.



Figura 44. Exame de campimetria e mapa resultante

Fonte: <www.institutmacularetina.com> e <www.amartintezanos.com>. Acesso em março de 2015.

4.1.2.7 Processo de detecção do glaucoma

```

graph TD
    A[DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA] --> B[Disco óptico alterado*]
    A --> C[Disco óptico suspeito**]
    B --> D[Glaucoma]
    C --> E[PIO elevada]
    C --> F[PIO normal]
    E --> G[Campo visual alterado]
    E --> H[Campo visual normal]
    F --> I[Campo visual alterado]
    F --> J[Campo visual normal]
    G --> D
    H --> K[Camadas de fibras nervosas normal]
    H --> L[Camadas de fibras nervosas alteradas]
    I --> D
    J --> M[Suspeito]
    J --> N[Glaucoma]
    K --> M
    L --> N

```

O = Pressão intraocular
 Disco óptico com dano típico de glaucoma
 Disco óptico suspeito = escavação > 0.5 e assimetria > 0.2

O exame mais simples deste fluxo é a tonometria. Apesar disso, ela é indispensável e é um dos primeiros exames a ser realizado por um paciente. Mesmo que não se suspeite do glaucoma, trata-se de um procedimento de rotina e a PIO de um paciente deve ser sempre monitorada. Isto ocorre porque aproximadamente 2% da população mundial tem glaucoma, então se a PIO estiver alterada, existe uma alta probabilidade de existir a doença. Os demais exames são mais específicos para o acompanhamento da progressão da doença.

4.1.3 Identificação da oportunidade tecnológica

Nesta secção foram apresentados tipos de exame que utilizam a imagem térmica para detecção de diferentes doenças, como a termografia mamária e inflamações reumáticas. Contudo esta tecnologia ainda é pouco explorada no campo da medicina.

Mais especificamente no âmbito da oftalmologia ainda não foram comprovados estudos de diagnóstico que utilizam variação de temperatura ocular. Portanto, existe um *gap* ainda não explorado que pode ser um potencial novo diagnóstico: um exame oftalmológico que captura a radiação infravermelha ocular sem precisar emitir luz para tal, e gera a imagem térmica das estruturas do olho. Este novo exame teria como indicação pacientes que estão com suspeita de glaucoma, já que a principal característica da doença é o aumento da PIO e, por conseguinte, a diminuição da temperatura (que será discutido no tópico 4.3.1).

As imagens térmicas são formadas por vários sensores microbolômetros que são muito sensíveis, capazes de distinguir mínimas mudanças de temperatura entre duas ou mais superfícies. Além disto, uma câmera térmica propõe um resultado imediato e sua tecnologia pode ser assimilada à um *software* que possibilita o registro e o histórico de medições de temperatura. Trata-se ainda de um sistema de pequeno porte, capaz de ser facilmente manuseado. As oportunidades de mercado oriundas das câmeras térmicas serão detalhadas no próximo tópico.

4.2 ANÁLISE DO MERCADO

4.2.1 Necessidade de mercado

O glaucoma é a segunda maior causa da cegueira no mundo, atrás apenas da catarata (SBG, 2015). A Organização Mundial da Saúde (OMS), registra 65 milhões de casos de glaucoma em todo o mundo e, em 2020, a estimativa é que este número chegará a 80 milhões. No mundo, estima-se que existam 985 mil portadores de glaucoma com mais de 40 anos de idade, dos quais 70% ainda permanecem sem diagnóstico. De acordo com o Conselho Brasileiro de Oftalmologia (CBO), no Brasil os dados indicam que cerca de 2% da população brasileira é portadora de glaucoma atualmente e 580 mil portadores atingiram o estágio de cegueira (OLIVEIRA et al., 2003).

Outro aspecto relevante do glaucoma é somente 50% dos glaucomatosos são efetivamente diagnosticados, considerando-se que em países pobres ou em vias de desenvolvimento esta porcentagem seja ainda superior.

Em geral, a prevalência do glaucoma varia de acordo com a idade e com a cor, sendo associada a outros fatores de risco como portadores de diabetes, míopes, usuários de esteroide corticoide, hipertensos ou indivíduos que já sofreram algum trauma ocular pertencem ao grupo de risco do glaucoma. Entretanto, os fatores hereditariedade e cor são mais decisivos.

Os resultados de uma pesquisa realizada por Povia et al. (2001) para detecção de glaucoma em que 1438 indivíduos com idade acima de 40 anos foram examinados ajudaram a identificar algumas características da população com glaucoma. Segundo eles da amostra foram diagnosticados 105 pacientes (7,3%) como portadores da doença, sendo que 92 desses (87,6%) não tinham diagnóstico prévio da doença (Figura 46).

Prevalência dos pacientes nos grupos diagnosticados		
Grupos Identificados	Frequência	Prevalência
Normais	1206	83,9%
Suspeitos	65	4,5%
Hipertensos oculares	49	3,4%
Glaucoma crônico simples		
PIO de triagem > 21	35	2,4%
PIO de triagem < 21	56	3,9%
Glaucoma de ângulo fechado	08	0,6%
Glaucoma secundário	06	0,4%

Figura 46. Prevalência dos pacientes
Fonte: Povia et al. (op. cit., p. 306)

A pesquisa elaborada pelo *National Eye Institute* (NEI) nos Estados Unidos, indica que a população glaucomatosa tem maior presença em indivíduos da cor negra, além disto, quanto maior a faixa etária maior a probabilidade de ocorrer a doença (Figura 47).

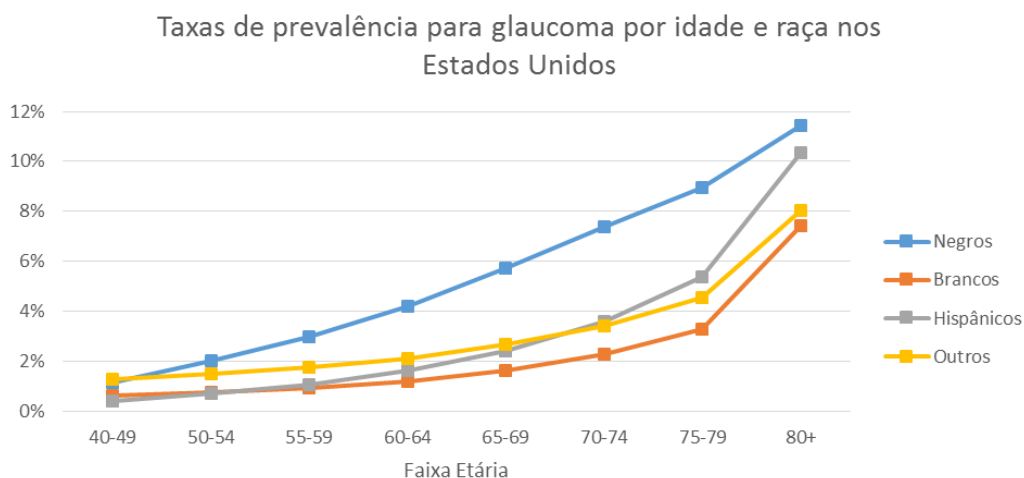


Figura 47. Gráfico de ocorrência do glaucoma de acordo com raça e faixa etária
Fonte de dados: <www.nei.nih.gov>. Acesso em dezembro de 2014.

Concomitantemente, o Brasil é o país com o maior número de negros da América Latina. Conforme o último censo demográfico, realizado a cada dez anos pelo Instituto Brasileiro Geografia e Estatística (IBGE), dos aproximadamente 191 milhões de brasileiros, 91 milhões declararam ser da raça branca, 15 milhões disseram ser negros, 82 milhões pardos, 2 milhões amarelos e 817 mil indígenas (Figura 48).

População brasileira distribuída pela cor

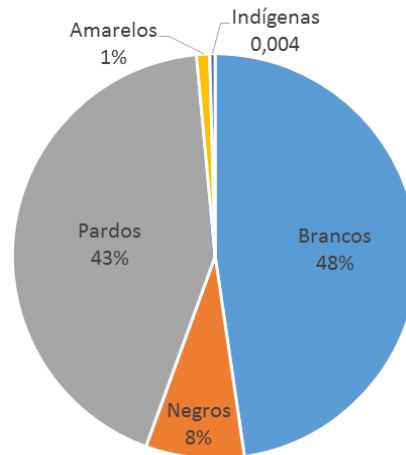


Figura 48. Gráfico da população brasileira distribuída por cor
Fonte de dados: IBGE censo demográfico, 2010

De acordo com este mesmo censo do IBGE, a população do Brasil está vivendo cada vez mais (Figura 49). Em 1991, crianças de 0 a 4 anos do sexo masculino, por exemplo, representavam 5,7% da população e o feminino representava 5,5%. Em 2010 estes percentuais caíram para 3,7% e 3,6. Enquanto isto, cresce a participação relativa da população com 65 anos ou mais que era de 4,8% em 1991, passando a 5,9% em 2000 e chegando a 7,4% em 2010.

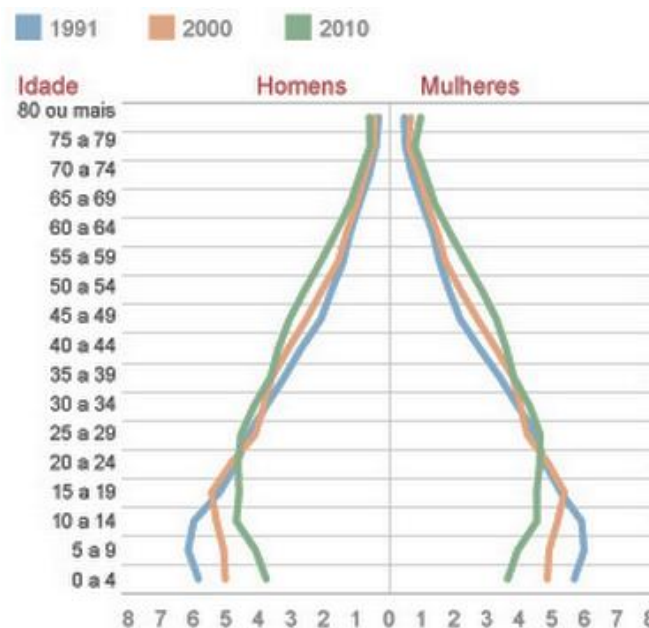


Figura 49. Composição da população residente total por sexo e grupos de idade - Brasil - 1991/2010
Fonte: IBGE censo demográfico, 2010

De acordo com Kyari et al. (2013) apud Quigley & Broman (2006), na África, o glaucoma é responsável por 15 % dos casos de cegueira e é a região com a maior incidência de cegueira em relação

a outras regiões em todo o mundo. Em segundo lugar fica o Japão, seguindo da América Latina (Figura 50).

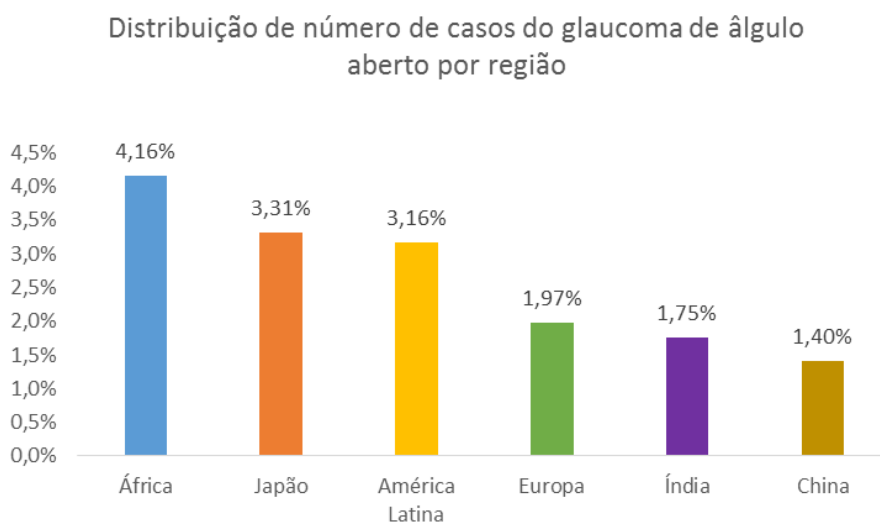


Figura 50. Distribuição de casos de glaucoma de ângulo aberto na população com idade acima de 40 anos (%) em 2010 por região

Fonte dos dados: Kyari et al., 2013

O Brasil é um país extremamente populoso e, conforme os dados apresentados, um pouco mais da metade da população é classificada como negros e pardos, característica que implica na maior ocorrência dos casos de glaucoma. Ademais, sabe-se que a recorrência do glaucoma é maior na população acima de 40 anos. Respectivamente, o censo do IBGE (2010) indica que a população idosa brasileira irá triplicar nos próximos vinte anos e representará quase 40% da população total. Dados os fatos citados pode-se inferir que o Brasil estará cada vez mais exposto à esta doença e a probabilidade de o número de casos crescer é certa caso o panorama da doença se mantenha o mesmo.

4.2.2 Crescimento de vendas das câmeras térmicas

O crescimento das vendas mundiais do mercado de imagens de infravermelho está cada vez maior. Em 2011, foram arrecadados com as vendas 2,18 bilhões dólares e a estimativa para 2017 são 3,86 bilhões dólares a uma taxa estimada de crescimento anual composta de 9,5%.

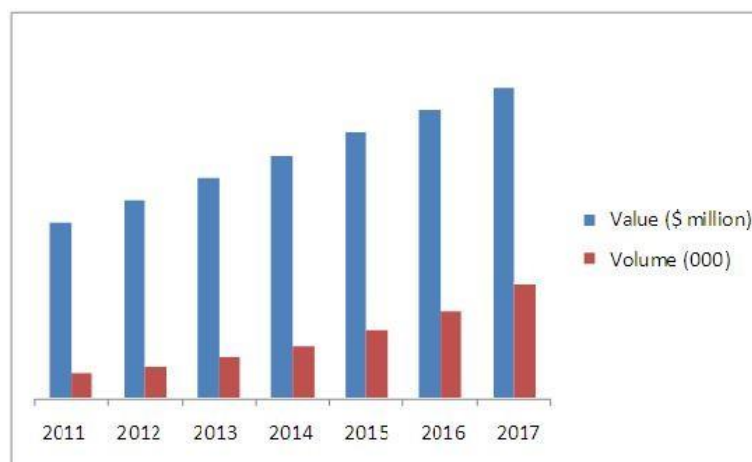


Figura 51. Estimativa de vendas das câmeras de imagem térmica
Fonte: CARROLL, 2013

Como resultado da melhoria da capacidade de aumento de visão das câmeras infravermelhas, aplicações comerciais têm crescido nos últimos 10 anos, penetrando vários mercados, incluindo a vigilância e segurança, combate a incêndios, imagens médicas, diagnósticos e industriais, de acordo com o relatório intitulado *“Thermal Imaging Market (By Applications - Surveillance and Security, Maintenance and Monitoring, Traffic Monitoring, Healthcare, Automobiles, Research and Development, and Others (Firefighting and Personal Vision); By End-users - Defense and Military, Industrial, Commercial and Residential Sector) - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast, 2013 - 2019”* realizado pela *Markets and Markets* (2014).

O relatório apresenta os avanços e descobertas no campo da fibra óptica e fotônica resultaram no surgimento de uma série de tecnologias no mercado de imagens ópticas. Essas tecnologias incluem a tomografia de coerência óptica (OCT). Os campos em que estas tecnologias são utilizadas incluem oftalmologia, cardiologia, gastroenterologia, oncologia, ginecologia, urologia, medicina interna, odontologia e entre outras áreas da medicina. Porém apesar do crescimento desta tecnologia, as imagens térmicas ainda estão muito concentradas nos segmentos de vigilância e segurança que juntos representaram 44,7 % da receita em 2012.

As câmeras de infravermelho ainda não penetraram em outras regiões além da América do Norte, deixando, assim, outras possibilidades de crescimento da aplicação comercial. Há um primeiro indício de que a China deverá se voltar à produção desta tecnologia, uma vez que é a segunda maior economia do mundo. Além disto, o relatório apresentado pela *Markets and Markets* (2014) identifica as principais empresas no mercado global de imagens térmicas são: FLIR Systems, Axis Communications AB, Samsung Techwin e Fluke Corporation.

A Figura 52 apresenta câmeras térmicas desenvolvidas por estas principais empresas do ramo e seus respectivos preços. Observa-se que, em grande maioria, a tecnologia é aplicada para monitoramento e segurança ou então utilizada na indústria para inspeção de equipamentos. Os preços são variáveis e estão

de acordo com o nível de qualidade da imagem, de distância alcançada, de precisão e de sensibilidade de térmica.

Marca	Modelo	Características	Preço médio
FLIR Systems	FLIR E4 	<ul style="list-style-type: none"> -Faixa de Temperatura de -20°C a 250°C -Emissividade e Parâmetros de Temperatura Refletida Ajustáveis para precisão de medição -Software FLIR Tools para relatório e análise incluso -Garantia FLIR de 2 anos para partes do termovisor e 10 anos para o detector 	USD 1.000,00
	FLIR T640 	<ul style="list-style-type: none"> -Alta Sensibilidade térmica:- < 0,035 °C à 30 °C -Faixa de temperatura: -40 ° C a 2000 ° C -Detector de matriz de plano focal com 640 x 480 pixels resolução infravermelho 	USD 26.950,00
Axis	AXIS Q 1910 	<ul style="list-style-type: none"> -A imagem térmica para o monitoramento ideal para segurança -Lente alternativas para diferentes aplicações -Recursos inteligentes de vídeo -Modelos de Outdoor- pronto com aquecedor de janela 	USD 3.500,00
	AXIS Q 29 	<ul style="list-style-type: none"> -Ideais para o monitoramento remoto de equipamentos de geração de energia , áreas de risco de incêndio ou processos industriais que envolvem materiais auto-ignição -Faixa de temperatura de -40 ° C a 550 ° C 	USD 6.500,00
Samsung Techwin	SCB-9080 	<ul style="list-style-type: none"> -Faixa máxima de detecção 1,2 km -Imagem intrínseca com sensor infravermelho de alta potência -Mínimo discernível temperatura de 0,08 ° C 	USD 9.500,00
	SCB-9050 	<ul style="list-style-type: none"> -Faixa máxima de detecção 360m -Imagem intrínseca com sensor infravermelho de alta potência -Mínimo discernível temperatura de 0,08 ° C -Padrão de cores 	USD 14.000,00
Fluke	Fluke Ti-90 	<ul style="list-style-type: none"> -Câmara termográfica robusta e leve que permite "apontar-e-disparar" -Sensibilidade térmica variação de 0,10 °C à 30 °C -Temperatura mínima 5 °C 	USD 1.500,00
	Fluke Ti-200 	<ul style="list-style-type: none"> -Faixa de medição de temperatura -20 °C a +650 °C -Precisão na medição da temperatura± 2 °C ou 2% -Sensibilidade térmica variação de 0,075 °C à 30 °C 	USD 6.500,00

Figura 52. Tipos de câmeras térmicas vendidas pelas principais empresas do ramo
Fonte: Próprio autor (2015)

As câmeras apresentadas das marcas Flir e Fluke podem ser utilizadas para tratamentos médicos. A termografia é bastante difundida no meio do esporte como uma ferramenta de prevenção de lesões e gestão de jogadores sabiamente. É possível visualizar rapidamente se um jogador poderia ser ferido antes da partida. Nas Figuras 53 e 54 a equipe utiliza uma câmera modelo Flir modelo T640.



Figura 53. Câmera Flir T640 para detecção de lesões esportivas
Fonte: < www.group-pema.com >. Acesso em julho de 2015.



Figura 54. Câmera Flir T640 utilizada na termografia
Fonte: < www.podoactiva.com >. Acesso em julho de 2015.

As câmeras térmicas são versáteis e podem ter múltiplas funções desde a indústria à medicina. Mesmo assim, ainda é uma tecnologia pouco explorada e aos poucos estão sendo descobertas novas e diferentes aplicações.

4.3 DEFINIÇÃO DA OPORTUNIDADE

4.3.1 Relação entre pressão intraocular (PIO) e temperatura ocular

Apesar de nem sempre estar relacionada, a pressão intraocular (PIO) elevada é o principal fator de risco para o desenvolvimento do glaucoma. Como já apresentado, o valor normal da PIO na população brasileira é de $13,0 \pm 2,1$ mmHg. Portadores de PIO acima ou igual à 21 mmHg são considerados hipertensos oculares e mais propensos a adquirirem a doença.

Visando compreender melhor os efeitos da elevação da PIO no olho humano, algumas pesquisas relacionam o aumento da PIO com uma diminuição de temperatura ocular. Substancialmente, o aumento da pressão dificulta a passagem de sangue e provoca a diminuição da circulação sanguínea no olho, que é a sua principal fonte de calor. A circulação sanguínea no olho advém da artéria oftálmica (Figura 55).

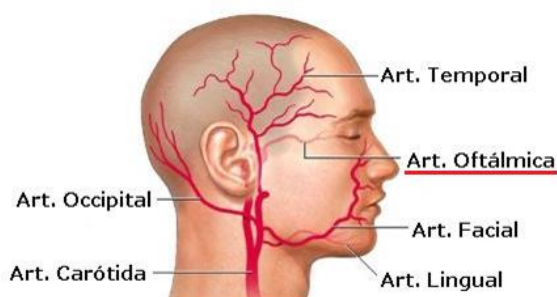


Figura 55. Destaque da artéria oftálmica que irriga o globo ocular
Fonte: <www.medicinageriatrica.com.br>. Acessado em junho de 2015.

Neste contexto, Cristini (1951) investigou a alteração vascular da fibra nervosa em pacientes com glaucoma analisando com o auxílio de microscópios quarenta olhos glaucomatosos. Como resultado, ficou constatado que o número de pequenos vasos, se comparados aos olhos saudáveis, é muito reduzido; e as redes capilares são fragmentadas (Figura 56).

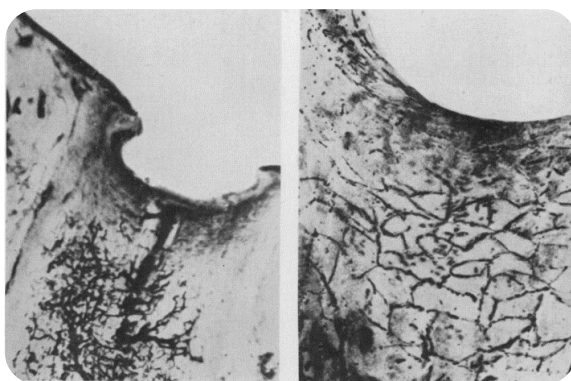


Figura 56. Olhos glaucomatosos: o número de capilares é reduzido, as malhas são fragmentadas e o fluxo de sangue irregular
Fonte: CRISTINI (op. cit., p.3)

Para efeito de comparação com olhos saudáveis, Cristini (1951) ilustrou como a irrigação sanguínea ocorre no olho saudável e no olho com glaucoma (Figura 57).

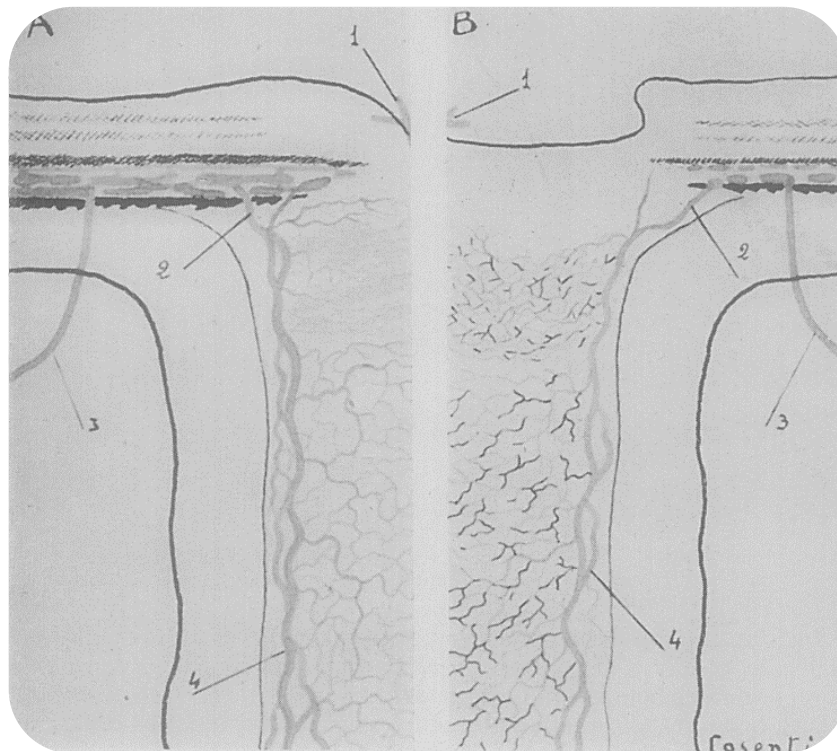


Figura 57. A circulação do sangue: (A) em condições normais; (B) no glaucoma
Fonte: CRISTINI (op. cit., p.6)

Após a este estudo, Kalvin et al. (1966) induziram macacos à uma elevação da pressão intraocular pela injeção da enzima quimotripsina alfa e, por conseguinte, à adquirirem o glaucoma. Esta mesma enzima, quando usada em doses suficientes, rompem os ligamentos zonulares, causa o aumento da pressão intraocular e degeneração da retina e nervo óptico (DZIEZYC, 1990).

Os macacos foram observados diariamente após a injeção da enzima. Observou-se no experimento alterações do nervo óptico e a redução no número de capilares no disco óptico (Figura 58).

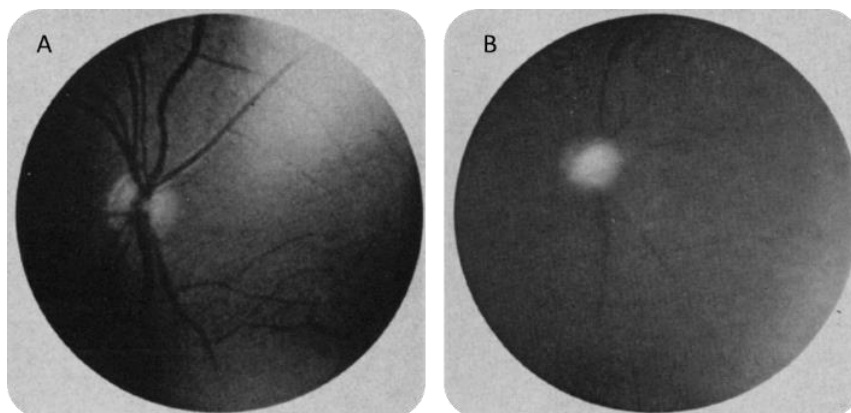


Figura 58. Efeito da quimotripsina alfa injetada (A) antes da injeção (B) 22 dias após a injeção
Fonte: KALVIN et al. (op. cit., p.85)

Kalvin et al. (1966) ainda estabeleceram uma relação direta entre o aumento da pressão intraocular e o dano causado no nervo óptico com base no experimento realizado nos macacos (Tabela 2).

Tabela 2. Relação entre escavação do nervo óptico e pressão intraocular

Pressão intraocular	% de escavação do nervo óptico
24-40 mmHg	12
41-60 mmHg	33
Acima de 61 mmHg	94

Fonte: Adaptado de KALVIN et al. (op. cit., p.88)

Dois anos após este estudo, Ernest e Potts (1971) realizaram um experimento semelhante em dezoito gatos, todavia com o objetivo de identificar variações de temperatura em função do aumento da pressão intraocular. Para isto, foram utilizados dispositivos implantados nos olhos dos felinos que eram capazes de medir a pressão e temperatura. Então, a PIO foi extremamente elevada e isso resultou em uma diminuição de temperatura (Figura 59).

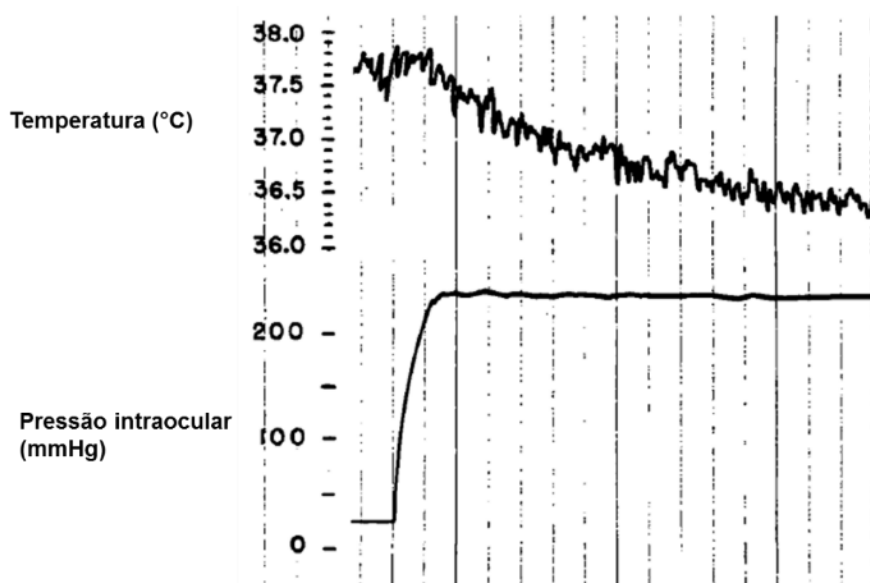


Figura 59. Registro da diminuição de temperatura em função do aumento da pressão intraocular

Fonte: Adaptado de ERNEST & POTTS (op. cit., p.437)

A temperatura decaiu de 37.7 para 36.4°C em aproximadamente 2 minutos. Constatou-se que a diminuição na vascularização do disco óptico em olhos glaucomatosos com a PIO elevada implica na diminuição da temperatura ocular.

Em um estudo mais recente realizado em 2011, Tkáčová et al. utilizaram câmeras infravermelhas para obter dados fisiológicos da superfície de olhos saudáveis. Eles utilizaram a termografia com o auxílio de câmera térmica (*Thermocamera Fluke Ti 55/20, Fluke, EUA*) e do software (*SmartView 2.1, Fluke, EUA*) para criar o banco de dados de vinte e oito olhos humanos saudáveis.

As medições foram realizadas sob as mesmas condições, mesma sala de temperatura ambiente 20 °C (± 1 °C). Cada olho foi examinado separadamente. Para a identificação do local de interesse do olho, foram definiram-se a área circular; três pontos de mensuração de temperatura T1, T2 e T3; e que o eixo horizontal linear como mostrado na Figura 60 (TKÁČOVÁ et al., 2011).

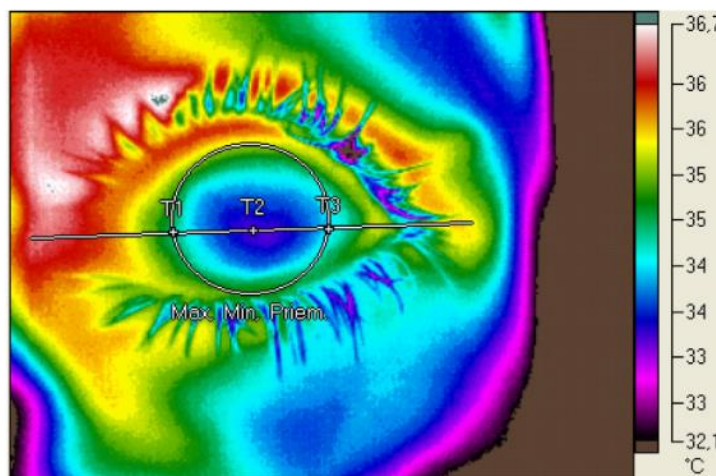


Figura 60. Termograma do olho esquerdo com pontos de medição definidos
Fonte: Tkáčová et al. (op. cit., p. 408)

Segundo Tkáčová et al. (2011), o resultado da temperatura média total na córnea foi de $34,51 \pm 0,82$ °C nos olhos saudáveis. A temperatura mínima da amostra foi $33,82 \pm 1,10$ °C e a temperatura máxima $35,41 \pm 0,73$ °C.

4.3.2 Exame via imagem térmica para auxílio na detecção do glaucoma

Como este trabalho tem a finalidade estudar a viabilidade de um novo tipo de diagnóstico para o glaucoma, utilizam-se como *inputs* a análise da tecnologia e a oportunidade de mercado. A análise tecnológica nos permite identificar quais são os recursos disponíveis nos atuais exames do glaucoma que aqui foram intitulados como exames oculares, ao passo que a tendência da imagem térmica em outros tipos de exame também foi mapeada já que não é explorada no campo oftalmológico.

Mais especificamente a tonometria é o foco de inovação para este estudo. Hoje, quando um indivíduo possui a PIO elevada, esta é mensurada pela tonometria. Como anteriormente apresentado, os tonômetros não são precisos e possuem, dentre outros pontos negativos, a restrição da não realização do exame em bebês. Conforme os estudos apresentados, a PIO elevada implica na diminuição da temperatura ocular devido à redução da circulação sanguínea no olho. É neste ponto que as funcionalidades das câmeras térmicas se encaixam, elas possuem alta sensibilidade e seria possível aferir mínimas mudanças de temperatura no globo ocular. Além disso, não seria necessário o contato com o globo ocular do paciente, nem exigência de um suporte de apoio para a cabeça, o que possibilita a realização de exames em bebês.

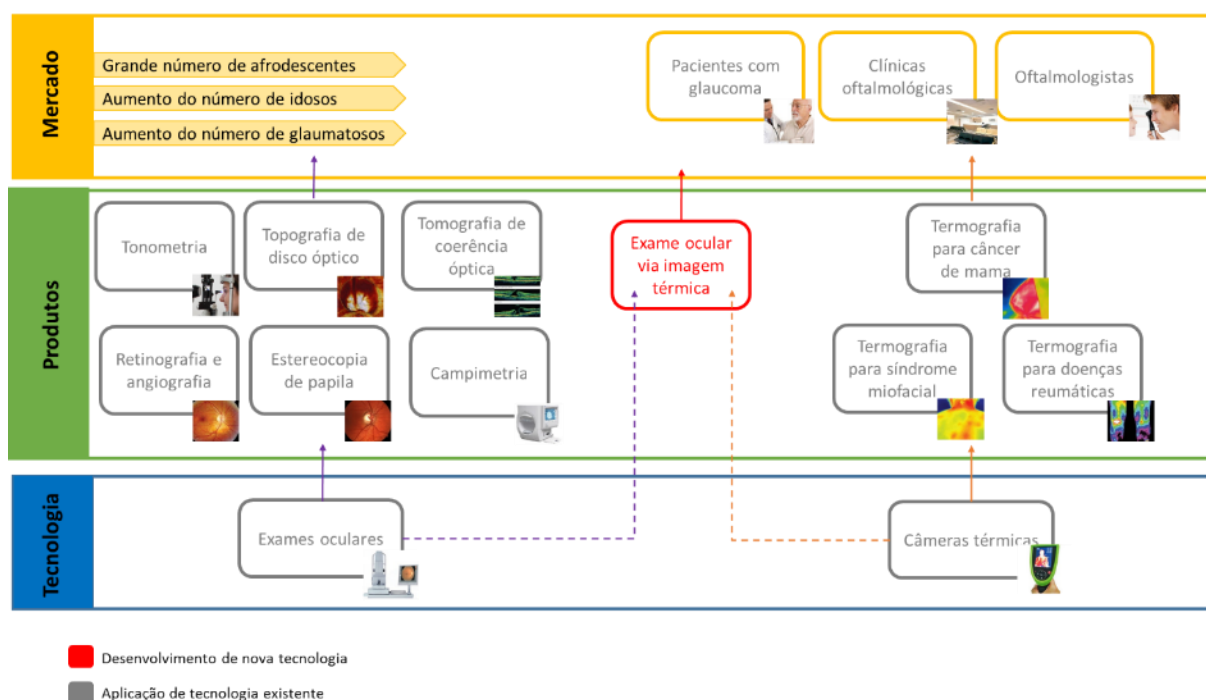


Figura 62- Roadmap tecnológico para desenvolvimento de diagnóstico do glaucoma via imagem térmica
Fonte: Próprio autor (2015)

O *roadmap* utilizou as mais prováveis tendências de mercado e os produtos imergiram de diferentes fontes de tecnologia. O novo produto destacado em vermelho é a oportunidade de desenvolvimento advinda de uma lacuna existente com base nas habilidades e conhecimentos acumulados com inovações de produtos e processos passados.

Utilizando o conceito de maturidade tecnológica de Roussel et al. (1992), o exame de diagnóstico do glaucoma via imagem térmica, denominado exame ocular via imagem térmica, é classificado com uma maturidade tecnológica de crescimento e ela definirá como será o processo de desenvolvimento do produto, conforme a Figura 63.

Exame ocular via imagem térmica	Previsibilidade						
	Maturidade tecnológica	Tempo para comercialização	Conhecimento de P&D competitiva	Técnica	Recompensa	Custos de P&D	Duração da vantagem comercial
	Crescimento	2-7 anos	Médio sofrível	Média	Elevada	Sofríveis	Sofrível
	Apesar das câmeras térmicas terem sido criadas em 1800, esta tecnologia ainda é pouco explorada na medicina e sua produção é concentrada nos USA.		Já existem empresas que produzem exames via imagem térmica, mas não oculares.	A previsibilidade ainda é incerta, mas existem produtos de tecnologia base que podem ser explorados para uma estimativa, como exames ópticos digitais e câmeras térmicas.			A depender da viabilidade e sucesso do produto.

Figura 63. Maturidade do produto exame de diagnóstico do glaucoma via imagem térmica
Fonte: Próprio autor (2015)

4.4 ANÁLISE DE PATENTES

A análise das patentes é importante para verificar se o produto sugerido já não está sendo idealizado por outros inventores. Portanto, a seguir serão analisadas as patentes nacionais e estrangeiras registradas no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e no *World Intellectual Property Organization* (WIPO) para diagnósticos do glaucoma.

A patente PI0504624-6 –Instrumento automatizado para medida do campo visual do olho humano, trata da adaptação do campímetro para as características da população brasileira, visto que os atuais *softwares* utilizam uma base de dados em olhos de uma população com características demográficas dos EUA ou Europa.

A patente WO/2014/137840, monitora o aumento pressão intraocular (PIO) do paciente – característica predominante nos glaucomatosos – por meio um sensor implantado, com base em princípios microfluídicos (Figura 64). Este sensor tem uma interface óptica e permite que a PIO possa ser lida em uma câmara de telefone celular.

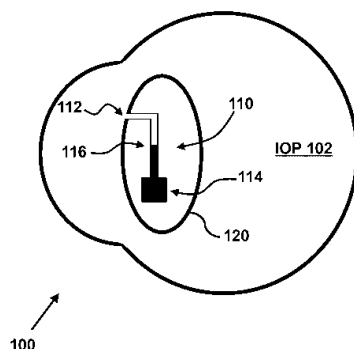


Figura 64. Sensor implantado no globo ocular para medir a PIO (patente WO/2014/137840)

Fonte:

<<http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2014137840&recNum=2&office=&queryString=FP%3A%28glaucoma+diagnostic%29&prevFilter=&sortOption=Pub+Date+Desc&maxRec=244>>. Acesso em dezembro de 2014.

Outro invento (patente WO/2011/062309) que também se refere a um dispositivo para a avaliação da PIO é capaz de medir continuamente a pressão intraocular real de um olho 24 horas por dia. Esta tecnologia garante verificar as flutuações da pressão intraocular ao longo do dia por um dispositivo que é implantado dentro do globo ocular.

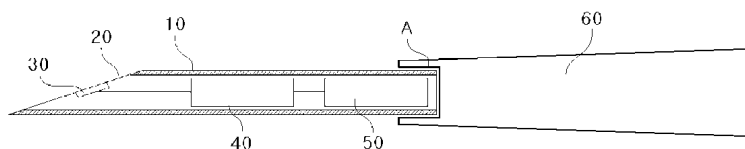


Figura 65. Dispositivo de medição da PIO (WO/2011/062309)

Fonte:

<<http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2011062309&recNum=37&office=&queryString=FP%3A%28glaucoma+diagnostic%29&prevFilter=&sortOption=Pub+Date+Desc&maxRec=244>>. Acesso em dezembro de 2014.

A WO/2013/096473 é uma patente que sugere o uso de um jogo de videogame para mapear a visão periférica de um indivíduo compreendendo um ponto de fixação movendo ativamente, mesmo princípio do campímetro. O videogame é implementado em uma plataforma de *hardware* composta por um monitor de vídeo, um dispositivo de entrada do usuário e uma câmera de vídeo. O jogo serve como um teste de campo visual que produz um mapa ocular que pode ser comparado com os dados considerados normais. Este novo tipo de exame é importante para afetados pelo glaucoma, já que a visão periférica é a primeira a ser lesada e porque ele permite mapear os pontos de visão embaçada. Outra invenção que analisa a visão periférica do indivíduo é a WO/2013/032362, ela objetiva emitir estímulos luminosos no campo da visão periférica e testá-lo. Se comparado à campimetria, esta invenção estende os limites do campo de visão periférico examinados e aumenta a confiabilidade dos resultados dos exames

Uma patente que visa aprimorar do exame OCT é a WO/2010/138645, ela utiliza uma abordagem do uso tridimensional informações (3D) para efetuar a segmentação automática de vasos sanguíneos da retina. A técnica de segmentação de vasos sanguíneos automatizada é baseada no domínio espectral 3D para registro de imagens da retina, para o diagnóstico e acompanhamento da progressão do glaucoma e outras doenças da retina ainda no estágio inicial. A técnica utiliza um algoritmo pelo qual a máquina identifica o vaso sanguíneo automaticamente via imagem 3D de forma que não depende de segmentação camada da retina.

De acordo com a análise de patentes conclui-se que existem diversas pesquisas de novos métodos de diagnóstico do glaucoma. No entanto, não foi identificada nenhuma inovação de diagnóstico do glaucoma que inclua a imagem térmica como solução.

5 PROJETO INFORMACIONAL

5.1 DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES

Os clientes desta pesquisa são os médicos oftalmologistas que responderam os questionários; o oftalmologista que foi entrevistado; e o próprio pesquisador deste estudo que realizou o exame para ter a visão do cliente.

5.1.1 Levantamento de necessidades com especialistas

Por meio de um questionário *on-line* (Apêndice II) foram levantadas as necessidades referentes aos médicos oftalmologistas, muitos especializados em glaucoma. No total foram 11 respondentes com média de 16 anos de exercício de profissão (Tabela 3).

Tabela 3. Respostas do questionário aplicado aos 11 especialistas

Médico 1	
Perfil	Oftalmologista; 13 anos de exercício de profissão; professor em universidades; possui 90 publicações de artigos em periódicos e 4 livros sobre o tema.
Considerações	Os principais problemas dos equipamentos de detecção do glaucoma atuais são o alto custo, baixa acurácia e a dependência da cooperação do paciente. Para uma análise do histórico do paciente, o novo aparelho deve possuir tecnologia de acompanhamento evolutivo, o que hoje não existe na tonometria. A nova proposta de diagnóstico deve ser testada clinicamente para que seja possível comprovar seus benefícios.
Médico 2	
Perfil	Oftalmologista especialista em glaucoma; 17 anos de exercício de profissão; membro do conselho administrativo do Société Française du Glaucome - Comitté de Lutte contre le Glaucome; possui 28 publicações de artigos em periódicos e 1 livro sobre o tema.
Considerações	Os atuais exames dependem de um examinador experiente e da cooperação dos pacientes (como é o caso da campimetria). O novo produto de auxílio na detecção do glaucoma via imagem térmica deve ser rápido, eficiente (no

	sentido de trazer benefício com um custo acessível), independente da cooperação do paciente e de fácil execução pelo examinador.
Médico 3	
Perfil	Oftalmologista; 12 anos de exercício de profissão; possui 1 artigo publicado em periódico.
Considerações	Hoje, os exames para detecção do glaucoma possuem baixa especificidade. O novo produto deve ter alta especificidade e sensibilidade. É necessário que se realizem testes científicos para desenvolver a proposta.
Médico 4	
Perfil	Oftalmologista; 21 anos de exercício de profissão; chefe do Departamento de Glaucoma de uma faculdade de medicina; possui 28 publicações de artigos em periódicos e 1 livro sobre o tema.
Considerações	A tonometria é falha na sua medida, o campo visual é subjetivo e a retinografia e OCT tem custo elevado e baixa sensibilidade e especificidade. O novo diagnóstico proposto deve ser preciso e barato tanto para o médico, quanto para o paciente. A proposta é válida, mas apenas estudos mais profundos trarão perspectivas.
Médico 5	
Perfil	Oftalmologista; 11 anos de exercício de profissão; possui 4 publicações de artigos em periódicos.
Considerações	Falta de um ponto de corte bem definido para diagnosticar a doença glaucoma. Sendo assim, os aparelhos atuais também possuem certa dificuldade em auxiliar neste diagnóstico. Um produto para diagnóstico do glaucoma deve ter alta sensibilidade e especificidade. De preferência não invasivo e indolor. O diferencial da proposta apresentada é a busca do diagnóstico da doença pela análise de um parâmetro completamente distinto de tudo que já se utilizou até o presente momento na tentativa de diagnosticar o glaucoma.
Médico 6	

Perfil	Oftalmologista; 28 anos de exercício de profissão; professor orientador com linha de pesquisa em glaucoma em universidade; possui 31 publicações de artigos em periódicos.
Considerações	Atualmente existe a dificuldade para detecção precoce do glaucoma e da progressão nos casos já detectados. O novo diagnóstico proposta deve ter acurácia, reprodutibilidade, sensibilidade e especificidade.
Médico 7	
Perfil	Oftalmologista especialista em glaucoma; 6 anos de exercício de profissão.
Considerações	Os principais problemas dos equipamentos atuais para detecção da doença são a detecção tardia do glaucoma e a dificuldade no acompanhamento da progressão da doença. O novo equipamento deve ser rápido, preciso e validado com pesquisas apropriadas.
Médico 8	
Perfil	Oftalmologista; 35 anos de exercício de profissão; professor em universidades; membro do Comitê de Ética da Sociedade Latino Americana de Glaucoma; possui 101 publicações de artigos em periódicos e 3 livros sobre o tema.
Considerações	Falta de alta sensibilidade e especificidade nos equipamentos atuais. O exame proposto deve ser prático e altamente sensível.
Médico 9	
Perfil	Oftalmologista especialista em glaucoma; 10 anos de exercício de profissão; possui 7 publicações de artigos em periódicos.
Considerações	Muitos glaucomas não cursam com pressão ocular muito alta ou até mesmo alta. Porém, a proposta é boa, realmente temos que buscar outras tecnologias.
Médico 10	
Perfil	Oftalmologista especialista em glaucoma; 10 anos de exercício de profissão; possui 5 publicações de artigos em periódicos.
Considerações	Todos os equipamentos atuais de diagnóstico são importantes, mas agem separadamente. Seria interessante que um aparelho efetuasse todas as análises

	e correlacionasse os exames. Os aparelhos atuais não trabalham com essa tecnologia via imagem térmica proposta, seria algo inédito para o glaucoma e mais uma ferramenta que nos ajudaria no acompanhamento do paciente.
Médico 11	
Perfil	Oftalmologista especialista em glaucoma; professor em universidades; 11 anos de exercício de profissão; membro da <i>American Academy of Ophthalmology</i> , <i>Pan-American Association of Ophthalmology</i> e da <i>Association for Research and Vision in Ophthalmology</i> ; possui 60 publicações de artigos em periódicos e 1 livro sobre o tema.
Considerações	Os testes como campimetria, são cansativos, longos e de baixa reprodutibilidade. A confiabilidade do teste cai à medida que a doença avança. O custo dos aparelhos é alto e por isso há pouca disponibilidade em áreas mais pobres. É importante decidir se o novo teste será para <i>screening</i> (rastreamento) ou para diagnóstico, porque se o teste depende da pressão ocular, suas AROCs (habilidade diagnóstica do teste) tendem a ser pequenas, e o teste tende a ter baixo valor preditivo. Se for para separar hipertensos oculares de controles, acredito que os resultados então sejam promissores. Pode ser uma opção de <i>screening</i> para hipertensos, pois o teste parece rápido e não invasivo. Muito interessante a termografia para avaliação de pacientes com glaucoma. Inclusive para outras finalidades: existe, por exemplo, um subgrupo de pacotes com glaucoma de pressão normal onde esse tipo de aparelho teria uma aplicação interessante. Esses pacotes apresentam desregulação vascular, em função disso, exames de termografia de extremidades (pés e mãos) mostram redução da temperatura tecidual nesses pacientes com desregulação vascular. Seria interessante avaliarmos os resultados da termografia em pacientes com glaucoma de pressão normal e correlacionar com a gravidade da doença.

Fonte: Próprio autor (2015)

Verifica-se, após analisadas as respostas dos especialistas, que alguns termos são regularmente citados. Dentre eles, para os problemas dos atuais exames são muito mencionados: baixa acurácia; baixa especificidade; dependência da cooperação do paciente; falta de tecnologia de acompanhamento evolutivo; dependência de um examinador experiente; e baixa sensibilidade.

Como sugestão para o novo produto são muito citados os termos: necessidade de ser testado clinicamente; rápido; eficiente; custo acessível; independência da cooperação do paciente; de fácil execução pelo examinador; sensível; e preciso. Estas necessidades propostas para o novo produto estarão

inclusas no desenvolvimento do mesmo, tornando-o uma opção mais vantajosa que os atualmente existentes.

Depois de coletadas as considerações por meio do questionário *on-line*, foi entrevistado um médico oftalmologista considerado *lead user* para este estudo.

5.1.2 Entrevista com o *lead user*

Após realizado este primeiro levantamento com os 11 especialistas, foi realizada uma entrevista com um médico oftalmologista do Hospital Universitário de Brasília, profissional com aproximadamente 30 anos de carreira e que atende em consultório próprio, além de exercer medicina do HUB. Ele foi considerado um *lead user*, caracterizado como o cliente que possui hoje a visão das necessidades gerais do mercado e tem propensão a utilizar novas tecnologias. O oftalmologista entrevistado trouxe considerações muito importantes que somente um profissional atuante na área conseguiria transmitir.

De acordo com ele, a porta de entrada para diagnosticar o glaucoma é a tonometria, apesar de haver todos os outros equipamentos (os quais foram citados neste trabalho), esses são utilizados apenas para delimitar melhor o glaucoma e acompanhá-lo, ou seja, o exame que é feito em qualquer pessoa, tendo ou não a doença, é a tonometria. A tonometria é considerada o *screening* (rastreamento), exame para a identificação presuntiva de doença não reconhecida anteriormente.

Segundo o médico, a tonometria de Goldmann (TAG) ou aplanção depende da cooperação do paciente para que o aparelho seja encostado em seu olho, muitas vezes ele pisca ou franze os olhos, comprometendo a medição da PIO. A pressão intraocular medida pelos tonômetros de aplanção não é precisa, por exemplo, se um médico mede a PIO de um paciente e outro mede logo em seguida, os valores resultantes provavelmente serão diferentes. Um outro ponto falho do TAG é a necessidade de contato do aparelho com o olho, que impõe um risco de contaminação de possíveis doenças para outros pacientes, por isto, o aparelho deve ser constantemente esterilizado. Ainda é necessário o uso de um colírio anestésico tópico para este exame. Para o uso do tonômetro de aplanção, é indicado que apenas os médicos o realizem este exame. Enfermeiros e técnicos comumente não tem permissão para realizá-lo. Isso faz com que o uso do TAG não seja preferencial em hospitais oftalmológicos que desejam acelerar o processo de atendimento. Eles utilizam o tonômetro de sopro, que é menos preciso, mas que é mais rápido e que pode ser utilizado por um enfermeiro antes que o paciente seja visto por um médico.

O tonômetro de sopro é menos preciso que o de Goldmann. Ambos os equipamentos requerem que o indivíduo foque sua visão em um ponto luminoso e isso é impensável para um bebê e mesmo crianças na primeira infância, o que impossibilita a realização do exame nesta faixa etária. O tonômetro de sopro requer que o indivíduo apoie o queixo em um suporte apropriado, já o tonômetro de Goldmann pode ser retirado do apoio, mas para que seja possível medir a PIO do bebê é necessário que ele se mantenha quieto; e para isso é indispensável realizar uma sedação, o que muitos profissionais evitam por se tratar

de um risco eminente de complicações, como a taquicardia. Logo, muitas vezes bebês e crianças pequenas deixam de realizar a medição da PIO, que é muito importante para a identificação do glaucoma congênito. Fez-se a comparação entre os tonômetros de Goldmann e de sopro evidenciadas nesta etapa (Tabela 4).

Tabela 4. Comparação entre o tonômetro de Goldmann e de Sopro

Tonômetro de Goldmann	Tonômetro de Sopro
Medição mais precisa.	Medição menos precisa.
Necessário uso de colírio anestésico.	Não é necessária anestesia.
Necessita de contato com o globo ocular.	Sem contato com o globo ocular.
Alto risco inerente de contaminação dos pacientes caso o aparelho não seja esterilizado.	Baixo risco de contaminação.
Deve ser operado por médicos.	Operado por médicos, enfermeiros ou técnicos.
Pode ser utilizado em bebês ou crianças pequenas, se essas forem sedadas.	Não pode ser utilizado em bebês ou crianças pequenas.

Fonte: Próprio autor (2015)

De acordo com o oftalmologista entrevistado, o exame via imagem térmica proposto pode desbancar a atual tonometria. Esse novo produto proporciona a realização do teste em crianças e idosos, já que soluciona algumas problemáticas atuais que impedem isto, que são: o paciente precisar manter os olhos abertos por muito tempo; posicionar a cabeça no suporte; direcionar a visão para um feixe de luz.

Além disso, a tonometria é falha em sua medida, o exame via imagem térmica propõe acurácia. Caso o novo aparelho traga uma escala mais precisa, com ao menos duas escalas decimais, já estará proporcionando uma precisão maior que a tonometria.

5.1.3 Observação direta dos clientes e experimentação

Examinado pelo oftalmologista entrevistado (*lead user*), o próprio autor deste estudo realizou a tonometria de Goldmann e, posteriormente, a de sopro em outro hospital oftalmológico. Esta experimentação foi feita para que fosse percebida a visão do usuário dos exames, visto que estes não foram entrevistados.

Percebeu-se que para a tonometria de aplanção o colírio anestésico é ardente e incomoda o paciente; para a de sopro identificou-se que o jato de ar é desconfortável e acaba por assustar o paciente que recua ligeiramente a cabeça para trás. Além disto, para os dois tipos de tonometria, focar no ponto luminoso não é trivial, principalmente crianças e idosos possuem dificuldade.

5.2 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DOS CLIENTES

Com as necessidades coletadas, levando em consideração as sugestões dos especialistas e do próprio pesquisador que realizou os exames, foi feito um agrupamento e classificação das necessidades de forma a agrupar as similares e repetidas.

Essa etapa é importante para transformar as necessidades dos clientes em requisitos dos clientes, ou seja, levar de uma linguagem típica do cliente para uma linguagem dos projetistas (Tabela 5).

Tabela 5. Definição das necessidades e requisitos dos clientes

Necessidades dos clientes	Requisitos dos clientes
O exame deve ter alta acurácia.	Ser preciso
O exame deve ter alta especificidade.	
O exame deve ter alta sensibilidade.	
O exame deve ter alta reprodutibilidade.	
O exame deve ser independente da cooperação do paciente.	Não necessitar de contato direto com o paciente Ser independente da cooperação do paciente
O equipamento de exame não deve encostar no olho do paciente.	
O exame deve ser capaz de ser realizado em bebês e crianças da primeira idade.	
O exame deve ter tecnologia de acompanhamento evolutivo da doença.	Possuir tecnologia de acompanhamento do paciente
O exame deve ser independente de um examinador experiente para o uso.	Ser de fácil manuseio
O exame deve ser fácil de ser realizado.	Ser rápido
A resposta do exame deve ser rápida.	
O exame deve ter custo acessível.	Ter preço acessível
O exame deve ser indolor.	Ser indolor
O equipamento deve ser de pequeno porte.	Ser pequeno

Fonte: Próprio autor (2015)

5.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO PRODUTO E ESPECIFICAÇÕES-META

Como os requisitos dos clientes estão ligados diretamente às necessidades dos clientes, ainda não estão na forma que de características mensuráveis do produto, o que não permite direcionar o esforço de projeto. Desta forma, são definidos os requisitos do produto. A definição dos requisitos dos produtos é a primeira fase de decisão do produto a ser projetado, são definidas as características básicas esperadas pelo futuro consumidor. Portanto, esta fase é determinante para o sucesso do produto.

Definidos os requisitos dos clientes e do produto, a matriz de correlação permite identificar como cada requisito do produto impacta no requisito do cliente. Feito isso, são identificadas as especificações-meta do novo produto. Para a definição das especificações meta, consideram-se também os pontos apontados no planejamento estratégico do produto.

As especificações-meta são os parâmetros quantitativos e mensuráveis que os requisitos do produto deverão obedecer. Mesmo que os requisitos de projeto sejam objetivos, é importante colocar também os qualitativos, sempre visando atender todas as necessidades dos clientes. Estas especificações-meta servirão como um guia de produção, podendo variar e evoluir durante o projeto. Para este projeto, as especificações-meta foram baseadas nos manuais de fabricantes de câmeras térmicas visando atribuir ao produto as características que atualmente são consideradas as mais avançadas.

A Figura 66 apresentada o resultado da interligação entre os requisitos dos clientes e dos produtos, bem como a determinação dos valores meta de cada característica técnica identificada como fundamental para atender aos requisitos e necessidades dos envolvidos.

Matriz de correlação		Requisitos do Produto											
		Precisão	Sem contato com o paciente	Integrado com tecnologia de acompanhamento do cliente	Interfaces de comunicação com o usuário	Intuitivo	De fácil manuseio	Rapidez do procedimento	De rápida resposta	Baixo custo de produção	Tamanho pequeno		
Requisitos dos Clientes	Ser preciso	X		X									
	Não necessitar de contato direto com o paciente		X				X						
	Ser independente da cooperação do paciente		X				X	X					
	Possuir tecnologia de acompanhamento do paciente	X		X			X						
	Ser de fácil manuseio		X	X	X	X	X	X					
	Ser rápido		X	X		X	X	X	X				
	Ter preço acessível									X			
	Ser pequeno										X		
Especificações		Sensibilidade térmica da câmera		Faixa de medição de temperatura	Distância entre a câmera e o paciente	Sistema integrado capaz de levantar o histórico de temperatura do paciente, gerando gráficos e medições	Interface visual	Visor que detecta os limites do globo ocular automaticamente	Número de botões	Tempo de procedimento	Resposta em tempo real	Custo de produção aproximado	Tamanho Largura x Altura de aproximado
Valor meta		≤ 0,05 °C	0 °C a +60 °C	10±2 e 15±2 cm	1	1	1	≤4	≤ 1 min	0 min	USD 3.500,00	15±2 cm x 10±2 cm	

Figura 66 Matriz de correlação do produto
Fonte: Próprio autor (2015)

Uma vez conhecidos os valores meta, a garantia da qualidade do produto pode ser testada. Gráficos de controle podem apresentar como está o processo de manufatura do novo produto, verificando as peças que estão fora do padrão (valor-meta) definido.

5.4 CONCEITO DO PRODUTO

Baseadas nas especificações-meta, foram identificadas três alternativas preliminares de produto (Figura 67). O conceito do produto é um complemento das diretrizes estabelecidas na fase de planejamento estratégico do produto. Ele deve gerar diretrizes para as decisões de engenharia, manufatura e *marketing*, principalmente quanto ao desempenho esperado do produto e ao seu custo final.

1- Equipamento oftálmico tradicional	2- Câmera fotográfica	3- Aplicativo
		
A câmera térmica ficará posicionada em frente ao paciente que apoia a cabeça no suporte tradicional.	Sem suporte para a cabeça do paciente, a câmera térmica funciona como uma câmera fotográfica em que o usuário direciona seu visor.	Aplicativo de imagem térmica que funciona com a mesma tecnologia da câmera térmica para celulares do tipo <i>smart phones</i> .

Figura 67. Alternativas de conceito de produto
Fonte: Próprio autor (2015)

O primeiro modelo é possui a estrutura de um equipamento oftálmico tradicional. O paciente posiciona a cabeça em um suporte e a câmera térmica é direcionada para a leitura em frente a ele. Este conceito pode ser prático, mas ainda impossibilita bebês e crianças da primeira idade de realizarem o exame.

O conceito câmera fotográfica funciona com os mesmos princípios de uma câmera fotográfica, em que o usuário direciona a lente da câmera para o que se quer fotografar, no caso o globo ocular do paciente. Nesse caso, já é possível realizar os exames em crianças e bebês da primeira idade, visto que elas não precisam cooperar para a realização do exame.

O terceiro conceito é um aplicativo para celular, muito semelhante com o conceito dois, porém acoplado a um aparelho muito utilizado no cotidiano. Este modelo tem um diferencial que é ser mais acessível ao público em geral, porém isso não significa que a avaliação de um médico não é necessária para a realização do exame. Atualmente, existe um dispositivo que é ligado ao celular que transforma a imagem da câmera tradicional em térmica desenvolvido pela companhia FLIR. Ele, chamado *Seek Thermal*, foi lançado em 2014 e para funcionar basta que seja baixado o aplicativo do dispositivo.

Como os três conceitos não tem contato direto com o olho do paciente, eles podem ser manuseados por um técnico ou enfermeiro, um dos principais pontos de melhoria apontados por este novo produto. Além disto, todos os outros benefícios se mantêm nas três propostas como: precisão, ser indolor, não invasivo, de fácil manuseio e de rápida resposta.

Além dos três conceitos preliminares, sugere-se dois modelos de *benchmarking* de tecnologia para desenvolvimento de qualquer dos três. A primeira proposta de tecnologia é a câmera térmica modelo Thermal Cam Fluke Ti55/20, marca Fluke, USA (Figura 68). Ela foi utilizada na medição de temperatura média ocular do estudo de Tkáčová et al. (2011). De acordo com o manual do fabricante, a faixa de medição de temperatura é de -20 °C a +600 °C e possui alta sensibilidade térmica para visualização menores diferenças de temperatura $\leq 0,05$ °C.



Figura 68. Conceito de produto (câmera Fluke modelo Ti55)
 Fonte:< http://www.transcat.com/media/pdf/Ti50_55.pdf>. Acesso em junho de 2015.

A segunda proposta de *benchmarking* de tecnologia para o produto pode ser baseada nas câmeras E-Series da fabricante FLIR (Figura 69). O maior benefício desta série é que a sensibilidade térmica é $<0,02^{\circ}\text{C}$, o que ajuda a ver as diferenças sutis de temperatura e padrões de calor. A faixa de medição de temperatura -20°C a 250°C .



Figura 69. Conceito de produto (câmera FLIR E-Series)
 Fonte:< http://www.transcat.com/media/pdf/Ti50_55.pdf>. Acesso em junho de 2015.

O preço médio de venda destas câmeras é de aproximadamente USD 4.395,00. O preço médio de venda do tonômetro de sopro é de USD 9.736,00 e do tonômetro de aplanção USD 1.600,00. A nova proposta de produto é mais barata que o tonômetro de sopro que é o menos preciso, por outro lado é mais cara que o TAG porque ela possui maior tecnologia embarcada, portanto maior o custo de produção.

Nesta seção foram apresentadas três alternativas de produto que devem ser estudadas no momento de criação do protótipo, procurando buscar o desenvolvimento do modelo mais vantajoso. Além disto, foram indicadas duas tecnologias de câmeras térmicas que podem ser avaliadas por meio da engenharia reversa para aplicação desenvolvimento do novo produto.

O próximo passo seria a fase de Projeto Conceitual de Rozenfeld et al. (2006) que não está no escopo deste projeto, porém todo o subsídio para a sua realização está contido neste estudo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos possibilitaram uma proposta de desenvolvimento de um novo equipamento médico para identificar a pressão intraocular elevada, característica predominante em indivíduos com glaucoma.

Destaca-se a utilização das competências de descoberta do DNA do inovador de DYER et al. (2012) durante todo o trabalho para explorar a melhor forma agregar a este novo produto inovador. A competência questionar foi evidenciada pela aplicação do questionário para aplicação *on-line* com especialistas e entrevista com *lead user*. A competência experimentar foi realizada quando o próprio autor realizou o exame da tonometria para obter a visão do paciente. A competência associar veio da utilização de uma tecnologia existente, câmeras térmicas, para resolução de um problema.

A partir do estudo dos modelos de referência em PDP de Rozenfeld et al. (2006) e Barbalho (2006) foi realizado o planejamento estratégico do produto, composto pela análise da tecnologia, análise do mercado, definição da oportunidade e; por fim, o desenvolvimento do projeto informacional, voltado para definição dos requisitos dos clientes, do produto, das especificações-meta e conceito do produto.

No estudo da prospecção tecnológica, observou-se que o exame ocular existente para a detecção da PIO elevada, denominado tonometria, não é preciso, e outras tecnologias para sua substituição nunca foram testadas desde a sua invenção nos anos 50. Paralelamente, existe uma tendência de crescimento de 9,5% anual das vendas de câmeras infravermelha. Essa tecnologia é ainda pouco explorada no campo da medicina, por ser considerada relativamente nova no mercado.

O mercado, por sua vez, é também favorável. O Brasil é um país extremamente populoso e um pouco mais da metade da população é classificada como negros e pardos, característica que implica na maior ocorrência dos casos de glaucoma. Além disso, que a população idosa brasileira irá triplicar nos próximos vinte anos e representará quase 40% da população total; e a faixa etária em que a recorrência do glaucoma é maior concentra-se na população acima de 40 anos. Dados os fatos citados pode-se inferir que o Brasil está cada vez mais exposto à esta doença.

A oportunidade foi traçada ao identificar o problema existente – tonometria falha – e a solução – uso de câmeras térmicas para tornar a medição precisa. Estudos provaram que quanto maior a PIO, menor a circulação sanguínea ocular e, conseqüentemente, menor a temperatura. A proposta é utilizar princípios de imagens térmicas extremamente sensíveis para determinar a temperatura ocular e defini-la se está abaixo do normal, refletindo na PIO alta. A oportunidade ficou clara ao interrogar os usuários finais, os médicos e os pacientes. Muitos benefícios são almejados com o desenvolvimento deste novo produto:

- Precisão, o sensor térmico (microbolômetro) é extremamente sensível;
- Indolor;
- Não invasivo;
- Resultado imediato e possibilidade de acompanhamento do histórico do paciente;

- Não é necessária dilatação de pupila;
- Não é necessária anestesia tópica;
- Não é necessário contato direto com o paciente;
- Tecnologia de pequeno porte, pode ser utilizada para atendimento em comunidades de difícil acesso/carretas da saúde;
- Fácil manuseio;
- Pode ser manuseado por enfermeiros, técnicos e médicos;
- Pode ser realizado em bebês e crianças da primeira idade, o usuário quem direciona a leitura da câmera térmica e não é necessário suporte para cabeça do paciente.

Como resultado final, foram traçadas as especificações-meta do produto. Essas, definidas na fase de Projeto Informacional, propiciam um guia para obtenção de concepções do produto, devem claramente refletir os elementos que serão avaliados após o término do desenvolvimento do produto.

A tecnologia e mercado se mostraram favoráveis, refletindo em uma oportunidade única e ainda não explorada. Também foram definidas as especificações do produto com o intuito de atender as necessidades dos clientes. A próxima etapa é a fase denominada Projeto Conceitual, é nela que o produto é modelado e define-se a sua arquitetura e ergonomia. Após esta etapa será definido o processo de produção e montagem e, finalmente, o lançamento no mercado.

Este estudo se finda na fase denominada Projeto Informacional com o objetivo de estabelecer a oportunidade de mercado e tecnologia e definir os requisitos que este mercado exige. As próximas fases serão propostas como sugestão de trabalhos futuros e este trabalho servirá de embasamento para dar seguimento ao desenvolvimento do novo diagnóstico auxiliar do glaucoma via imagem térmica.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As necessidades e desejos do consumidor mudam continuamente. As empresas devem responder a essas mudanças através de seus produtos e serviços. Caso contrário, os consumidores podem mudar para o concorrente cujos produtos satisfaçam suas exigências. O desenvolvimento de novos produtos é uma atividade essencial para todas as empresas.

Em outras palavras, o PDP está ligado à capacidade de uma empresa de se manter competitiva e também para garantir a longevidade de um negócio. Qualquer organização que não pratica o desenvolvimento de novos produtos está sob a tendência de não perdurar no mercado por muito tempo, visto que o ambiente é dinâmico e a inovação torna-se definitivamente necessária para as empresas se adaptarem às mudanças do mercado e da sociedade, a fim de continuar relevantes e competitivas em seu setor.

Existem alguns modelos de referência compostos por etapas a serem seguidas para a implementação do PDP. Este trabalho adaptou os modelos de Barbalho (2006) e Rozenfeld et al. (2006) para gerar fases personalizadas consideradas importantes para o desenvolvimento do novo exame auxiliar para o diagnóstico para o glaucoma. Como a pesquisa é tratada dentro do âmbito acadêmico, foram selecionadas as macrofases de pré-desenvolvimento e de desenvolvimento Rozenfeld et al. (2006), bem como a fase de estratégia e especificações de Barbalho (2006), já que o produto físico não será produzido. Entretanto, estas fases não foram abordadas em sua totalidade, algumas entregas foram selecionadas especificamente para o projeto que são o planejamento estratégico de produto e projeto informacional.

Nesta fase do projeto foi apresentado o planejamento estratégico do produto que consistiu em analisar as tecnologias existentes, oportunidade de mercado, definição da oportunidade e análise de patentes. As tecnologias existentes no campo da oftalmologia não abrangem o uso da imagem térmica para a detecção do glaucoma, apesar deste tipo de imagem já ser utilizado em outros campos da medicina. Em relação ao mercado, o Brasil demonstrou ser um potencial país para o aumento do número de glaucomatosos, visto que sua população idosa tende a triplicar nos próximos vinte anos e quase metade dela é composta de afro descendentes (característica comum para os indivíduos com a doença). As patentes hoje existentes apresentam diferentes inovações tecnológicas para detecção do glaucoma, mas nenhuma utiliza a imagem térmica como base. A definição da oportunidade emergiu da análise da tecnologia e necessidade de mercado, apontando que a opção de produto diagnóstico de glaucoma via imagem térmica encontra um posicionamento de tecnologia e de mercado ainda não explorado.

Pesquisas realizadas desde 1951 apontam que a pressão intraocular (PIO) elevada implica na diminuição da circulação sanguínea no globo ocular. Como esta é a principal fonte de calor, o aumento da PIO reduz a temperatura do olho. Esta teoria foi comprovada por meio de testes em animais como

macacos e gatos, que tiveram uma indução de aumento de pressão intraocular. Neste contexto, a imagem térmica foi aqui proposta como uma alternativa de substituição à tonometria que é imprecisa.

O novo equipamento proposto é definido com o uso da tecnologia de microbolômetros, os mesmos utilizados em câmeras térmicas, que são muito precisos. Desta forma, seriam estipulados parâmetros de temperatura normais, assim como foram estipulados para pressão intraocular, e aqueles que possuírem a temperatura reduzida seriam suspeitos da doença com maior assertividade que a tonometria.

Os benefícios do uso da imagem térmica em detrimento dos tonômetros são vários, dentre eles destacam-se: a possibilidade de realizar o exame em bebês; o não-contato direto com o paciente; precisão do valor mensurado; o monitoramento e histórico da temperatura ocular do paciente; o pequeno porte da tecnologia; entre outros.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como este trabalho foi realizado no contexto universitários, existiam limitações como custos e disponibilidade de material que impossibilitou a concepção de um protótipo do equipamento de auxílio de diagnóstico do glaucoma via imagem térmica. Com isto, seguem sugestões de estudos sobre o tema:

- Realizar testes de medição de temperatura do globo ocular via imagem térmica similarmente ao estudo de Tkáčová et al. (2011) porém com uma amostra maior, visto que somente foi realizado com 28 pessoas;
- Levantar as necessidades do produto dos próprios pacientes, visto que as necessidades neste estudo foram levantadas com base na opinião somente de médicos oftalmologistas;
- Elaborar o desenho técnico baseado nas especificações-meta do produto;
- Definir o processo de produção do produto;
- Conceber o protótipo;
- Realizar o teste do protótipo com uma amostra de população com PIO normal e elevada; e assim, fazer a comparação com o tonômetro de Goldmann e de sopro para a mesma população;
- Desenvolver o projeto detalhado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIN, T. *CMOS-based Thermal Sensors*. Department of Electrical and Electronics Engineering, Middle East Technical University. Ankara, Turkey, 2005.
- ALENCAR, L. P. M. **Valor preditivo da topografia de disco óptico para o desenvolvimento de glaucoma**. Tese (Doutorado em Oftalmologia) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- ANDRADE, M. M. **Introdução à metodologia do Trabalho Científico: elaboração de trabalhos na graduação**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- ANDREASEN, M. M.; HEIN, L. *Integrated product development*. 1987.
- ANDREASSI, T. **Gestão da inovação tecnológica**. São Paulo: Thomson, 2007.
- AXONAL. **Uso Estratégico de Patentes em Negócios conceitos, ferramentas e técnicas, com foco em informações tecnológicas**. Universidade Federal Fluminense – UFF, Volta Redonda, RJ, 2014.
- AZEVEDO, A. H. **Aplicação de melhores práticas de desenvolvimento de produtos ao projeto de um carro elétrico**. Projeto de graduação. Universidade De Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia de Produção, 2014.
- BALBINO, L. F.; VIEIRA, L. R. **Avaliação objetiva da síndrome dolorosa miofascial: uso da termografia antes e após tratamento associando mesoterapia a bloqueio anestésico**. Rev. Acta fisiatr., v 12, nº 3, pg 115-117, 2005.
- BARBALHO, S. C. M. **Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos: proposta e aplicações**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: s.n., 2006. p. 257, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). 2006.
- BATISTA, R. **Desenvolvimento de estímulos dinâmicos térmicos para análise do sistema sensorial infravermelho em serpentes**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.
- BEELICH, K.H.; SCHIEFER, E. *Erhöhter Planungsaufwand reduziert Entwicklungszeiten. Konstruktion*. Düsseldorf, v.51, 1999.
- BEZERRA, L.A. **Uso de Imagens termográficas em tumores mamários para validação de simulação computacional**. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

- BITTENCOURT, T. **Pré-processamento digital de imagens obtidas na faixa espectral do infravermelho distante**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, 2012.
- BRACHT, M. **Disfunção sacroilíaca**: confiabilidade dos testes diagnósticos e suas implicações na terapia manual. 2007. Disponível em: <www.terapiamanual.com.br>. Acessado em: 29 jun. 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Ações de enfermagem para o controle do câncer – uma proposta de integração ensino-serviço**. 3ª edição. Rio de Janeiro: INCA, 2008.
- BRIOSCHI, M. L., **Metodologia de Normalização de Análise do Campo de Temperaturas em Imagem Infravermelha Humana**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2011.
- BRIOSCHI, M. L.; YENG, L.T.; PASTOR, E.M.H.; TEIXEIRA, M.J. **Utilização da imagem infravermelha em reumatologia**. Revista Brasileira de Reumatologia, v. 47, p. 42-51, 2007.
- CARROLL, J. *Infrared imaging market predicted to hit \$3.86 billion*. VISION SYSTEMS, 2013.
- CHAUHAN, D.; HIDESHIMA, T.; ROSEN, S.; REED, J.C.; KHARBANDA, S.; ANDERSON, K.C.; *Apaf-1/cytochrome c-independent and Smac-dependent induction of apoptosis in multiple myeloma (MM) cells* . J. Biol. Chem., 276 (2001), pp. 24453–24456
- DYER, J.; CHRISTENSEN, C. M.; GREGERSEN, H. B. **DNA do Inovador** - Dominando As 5 Habilidades Dos Inovadores de Ruptura. 1. ed. São Paulo: HSM Editora, 2012.
- CLARK, K.B.; WHEELWRIGHT, S.C. *Managing New Product and Process Development*. New York: The Free Press, 1993.
- CONSELHO BRASILEIRO DE OFTALMOLOGIA. **Doenças-Glaucoma**. São Paulo, 2009. Disponível em: <www.cbo.com.br/pacientes/doencas/doencas_glaucoma.htm>. Acessado em: 14 out. 2014.
- COSTA, H. **Calibração de um Termovisor para Planejamento da Produção**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- COSTA, R.A.; CALUCCI, D.; SKAF, M.; CARDILLO, J.A.; CASTRO, J.C.; MELO, L.A. J.R; et al. *Optical coherence tomography 3: Automatic delineation of the outer neural retinal boundary and its influence on retinal thickness measurements*. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2004.
- CRISTINI, G. *Common pathological basis of the nervous ocular symptoms in chronic glaucoma*. Brit. J.Ophth. 35:11, 1951.

- DANTÉS, D; SIQUEIRA, R. **Angiografia da Retina**. Revinter, 2004. 273 p.
- DIAS, M. **Geração de populações artificiais para treinamento de classificadores de apoio ao diagnóstico de glaucoma**. Tese (Doutorado em Sistemas Digitais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- DZIEZYC, J. ***Cataract surgery***. Current approaches. Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract., v. 20, n. 3, p. 737-54, 1990.
- EHLERS N, BRAMSEN T, SPERLING S. ***Applanation tonometry and central corneal thickness***. Acta Ophthalmol (Copenh). 1975;53(1):34-43.
- ERNEST, J.T.; POTTS, A.M. ***Pathophysiology of the distal portion of the optic nerve***. Local temperature as a measure of blood flow. Chicago, Illinois, 1971.
- FONSECA, A.J.H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. Tese (Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- GARCIA, E. **Impressão Termográfica na detecção de claudicação em cães**. Universidade de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2013.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GLAUCOMA RESEARCH FOUNDATION. ***Glaucoma Facts and Stats***. Califórnia, 2015.
Disponível em: <www.glaucoma.org/glaucoma/glaucoma-facts-and-stats.php>. Acessado em: 14 out. 2014.
- GOLDMANN, H.; SCHMIDT, T. ***Weiterer Beitrag zur Applanationstonometrie***. Ophthalmologica 1961; 141:441-456.
- GROS, C. et al. ***Thermographic classification of breast neoplasms***. Bull. Cancer, Paris, v.58, p.351-361, 1971.
- HECHT, J. ***PHOTONIC FRONTIERS: ROOM-TEMPERATURE IR IMAGING: Microbolometer arrays enable uncooled infrared camera***. Estados Unidos, 2012. Disponível em: <<http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-48/issue-04/features/microbolometer-arrays-enable-uncooled-infrared-camera.html>> . Acessado em: 13 set. 2014.
- HIPPEL, E. V. ***Lead Users: A Source of Novel Product Concepts***. Management Science, 32(7), 791-805, 1986).

- INSTITUTO DE MOLÉSTIAS OCULARES. **GLAUCOMA**. São Paulo. Disponível em: <www.imo.com.br/storage/pdf/glaucoma.pdf> . Acessado em: 20 out. 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010 – Resultados Gerais da Amostra**. São Paulo, 2012. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000008473104122012315727483985.pdf> . Acessado em: 17 out. 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **A PROPRIEDADE INTELECTUAL E O COMÉRCIO EXTERIOR, Conhecendo oportunidades para seu negócio**. 2011.
- KALVIN, H. N.; HAMASAKI, D.I.; GASS, J.D. *Experimental glaucoma in monkeys. II. Studies of intraocular vascularity during glaucoma*. Arch Ophthalmol. 1966 Jul;76(1):94–103.
- KOTLER, R.P. **Administração de Marketing**.n A Edição do Novo Milênio, 103 edição. 2000.
- KYARI, F.; ABDULL, M.M.; BASTAWROUS, A.; GILBERT, C.E.; FAAL, H.; *Epidemiology of glaucoma in Sub-Saharan Africa: Prevalence, incidence and risk factors*. Middle East Afr J Ophthalmol 2013;20:111-25, 2013.
- LAWSON, R.N. *Implications of surface temperatures in the diagnosis of breast Cancer*. Can. Med. Assoc. J., Ottawa, v.75, p.309-315, 1956.
- MODUGNO, R. G. **Uma contribuição ao projeto de retinógrafos digitais**. 2008. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em:<www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18153/tde/Modugno.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2014.
- MOTTA, P.R. **Transformação organizacional: A teoria e a prática de inovar**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- OLIVEIRA, A.; PARANHOS JR, A.; PRATA JR, J. **Características dos pacientes atendidos pela primeira vez no Setor de Glaucoma da Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP**. Arq Bras Oftalmol. 2003; 66(6): 785-90.
- OLIVEIRA, M. G.; J. S. FREITAS; A. L. FLEURY; H. ROZENFELD; R. PHAAL; D. PROBERT; L. C. CHENG. **Roadmapping: uma abordagem estratégica para o gerenciamento da inovação em produtos, serviços e tecnologias**. Rio de Janeiro, 2012.

- PARANHOS JR; A.; OMI, A.C.; PRATA JR; J, MELO JR, L.A.S.; TEXEIRA, S.H.; et al. **Terceiro Consenso Brasileiro Glaucoma Primário de Ângulo Aberto**. 3a ed. São Paulo: BestPoint. 2009.
- PATTERSON, M.L., FENOGLIO, J.A. *Leading Product Innovation: accelerating growth in a product-based business*. New York: John Wiley & Sons, 1999.
- PINHEIRO JUNIOR, M. N. **OFTALMOLOGIA**. São Paulo, 2010. Disponível em: <www.oculare.com/downloads/OFTALMOLOGIA.pdf>. Acessado em: 02 nov. 2014.
- POVOA, C. A.; et al. **Prevalência de glaucoma identificada em campanha de detecção em São Paulo**. *Arq. Bras. Oftalmol.*, São Paulo , v. 64, n. 4, Aug. 2001.
- PROBERT, D.; RADNOR, M. *Frontier Experiences from Industry*. Academia Consortia, Research Technology Management, p.27-30, Mar-Abril, 2003.
- QUIGLEY , H. A., BROMAN, A. T. *The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020*. *Br J Ophthalmol*, 2006.
- QUIGLEY, H.A. *Addicks EM and Green WR: Optic nerve damage in human glaucoma. III. Quantitative correlation of nerve fiber loss and visual field defect in glaucoma, ischemic neuropathy, papilledema, and toxic neuropathy*. *Arch. Ophthalmol*, 1982.
- RICHARDS, A. *Allien Vision: exploring the electromagnetic spectrum with imaging technology*. SPIE Press (ISBN: 0819485357), 2001.
- ROBERT, M. **A Estratégia da Inovação do Produto**: como o Processo de Inovação pode ajudar a sua Empresa a suplantat suas concorrentes. 1995.
- ROUSSEL, P. A.; SAAD, K. N.; BOHLIN, N. **Pesquisa e Desenvolvimento**: como Integrar P&D ao Plano Estratégico e Operacional das Empresas como Fator de Produtividade e Competitividade. Makron Books, 1992.
- ROZENFELD, H., et al. 2006. **Gestão de desenvolvimento de Produtos**: Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.
- RUIZ, J, A. **Metodologia científica**: guia para eficiência de estudos. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DO GLAUCOMA. Cuidado com o glaucoma. 2015. Disponível em: <www.cuidadocomoglaucoma.com.br>. Acessado em 09 jul. 2015.

- SOCIEDADE BRASILEIRA DE GLAUCOMA. **2º Consenso Brasileiro de Glaucoma Primário de Ângulo Aberto**. São Paulo: Planmark; 2005. Disponível em: <www.sbglaucoma.com.br/pdf/consenso02.pdf>. Acessado em 15 jun. 2015.
- MARKETS AND MARKETS. *Thermal imaging market*, Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast, 2013 – 2019. Disponível em: <www.transparencymarketresearch.com/thermal-imaging-market.html>. Acessado em: 22 nov. 2014.
- TKÁČOVÁ, M.; ŽIVČÁK, J.; FOFFOVÁ, P. *A reference for human eye surface temperature measurements in diagnostic process of ophthalmologic diseases*. Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Košice, Slovakia, 2011.
- TROUILLEAU, C. et al. *High-performance uncooled amorphous silicon TEC less XGA IRFPA with 17 µm pixel-pitch*; “Infrared technologies and applications XXXV”, Proc. SPIE 7298, 2009.
- TURRIONI, J. B.; C. H. P. MELLO. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção: Estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 2012.
- ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. *Product design and development*. McGrawHill, 2 nd ed., Boston, NA, 2000.
- VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- WEBB, R.H.; HUGHES, G.W.; DELORI, F.C. *Confocal scanning laser ophthalmoscope*. Appl Opt, 26(8):1492-1499, 1987.
- YENG, L.T.; KAZIYAMA, H.H.S.; TEIXEIRA, M.J. **Síndrome Dolorosa Mio-fascial**. Curitiba/PR jan/março, 2003. Disponível em <www.herniadedisco.com.br/wp-content/uploads/2010/06/dor-miofascial.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2014.
- ZALTMAN, G. DUNCAN, R. HOLBEK, J. *Innovations and organizations*. New York: Wiley, 1973.

APÊNDICES

		Pág.
Apêndice I	Explicativo básico para a proposta de exame a estes especialistas	87
Apêndice II	Formulário aplicado aos especialistas disponível na plataforma <i>Typeform</i>	93



Roteiro de Entrevista: Proposta de um novo exame de diagnóstico do glaucoma

Aluna: Paula Caminha Soares

Orientador: Prof. Dr. Sanderson Cesar Macedo Barbalho

Olá,

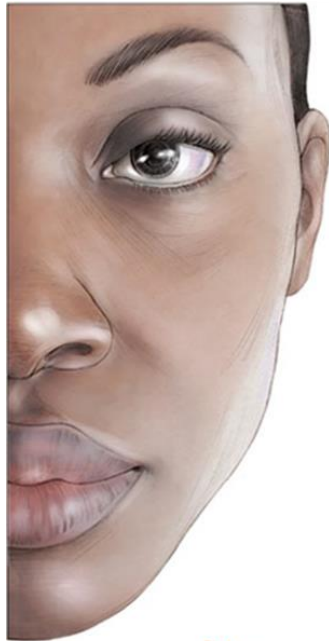
Em primeiro lugar agradeço sua atenção para ler este material. Prometo que não tomará mais que 10 minutos do seu tempo.

Sou aluna de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília (UnB) e estou realizando o projeto de conclusão de curso, orientada pelo Prof. Dr. Sanderson Cesar Macedo Barbalho, sobre a criação de um novo produto na área oftalmológica.

A engenharia do produto é o conjunto de ferramentas e processos de projeto, planejamento, organização, decisão e execução envolvidas nas atividades estratégicas e operacionais de desenvolvimento de novos produtos.

Neste sentido, estou desenvolvendo um projeto que propõe um novo tipo de exame para o diagnóstico do glaucoma inexistente no mercado.

Para validação de minha proposta, estou entrando em contato com 10 especialistas no ramo para discorrer a respeito desta proposta.



Objetivo do novo produto

O novo produto propõe uma alternativa de exame para detecção do glaucoma via imagem térmica.

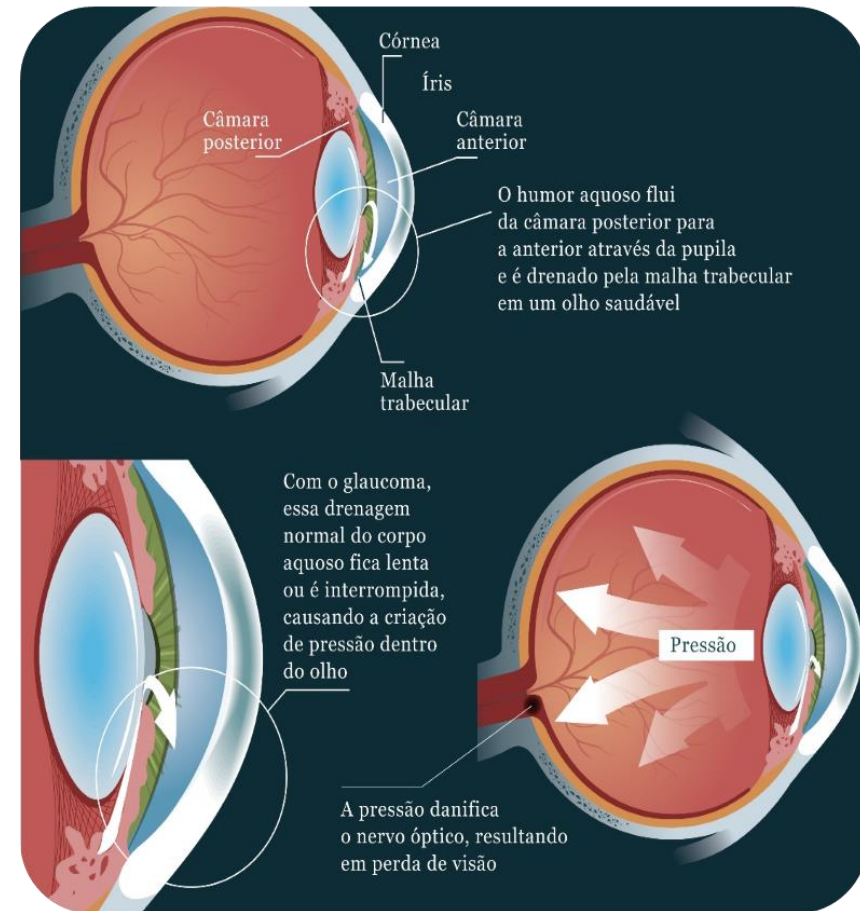
O glaucoma

De acordo com a *Glaucoma Research Foundation* (2013), o glaucoma ocorre com a drenagem lenta do humor aquoso pela malha trabecular e cria pressão dentro do olho.

Veja o esquema da figura ao lado

Pressão intraocular (PIO) x Temperatura

Especialistas realizaram estudos que comprovaram que o aumento da PIO, há a diminuição de temperatura ocular.



O que é uma imagem térmica?

As imagens térmicas surgiram com o objetivo de tornar algo visível sem a necessidade de luz, apenas com a presença do calor. Desde câmeras de visão noturna utilizadas pelos militares à aplicação de imagens de exames médicos, sensores de imagem térmica estão cada vez mais frequentes.



Naufrágio na visão humana



Naufrágio por imagem térmica

Este sistema faz uso da captação da radiação infravermelha emitida ou mesmo refletida por um objeto, similarmente ao sistema de visão das serpentes, que podem enxergar até mesmo na ausência total da luz.



Como funciona?

Os sensores térmicos mais comumente utilizados nas câmeras térmicas são os microbolômetros.

Muito sensíveis: permitem distinguir superfícies com apenas **0,01** de diferença de temperatura em **10^{-3} s**!

Este sensor é geralmente utilizado nas indústrias militares e automotivas, na construção civil, em empresas de energia elétrica e alguns campos da medicina.

A proposta deste projeto é utilizar este dispositivo para detectar a diminuição de temperatura ocular causado pelo glaucoma.

PRINCIPAIS EXAMES OCULARES PARA DETECÇÃO DO GLAUCOMA

Retinografias e Angiografias

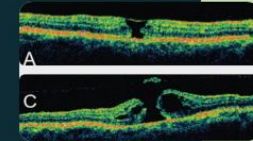


Retinografia é uma técnica de exame que consiste em observar e registrar fotografias da retina, do nervo óptico e do fundo do olho. Já a angiografia permite visualizar a retina e a coroide.



Tomografia de coerência óptica (OCT)

A OCT tem sua aplicabilidade na propedêutica do glaucoma através da avaliação da camada de fibras nervosas da retina. Este exame produz imagens de corte seccional das estruturas oculares com alta resolução.



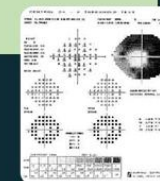
Estereoscopia de papila

Estereoscopia de papila gera fotos com profundidade capaz de mostrar com mais perfeição anormalidades e escavações não percebidas com fotografias comuns do globo ocular.



Campimetria

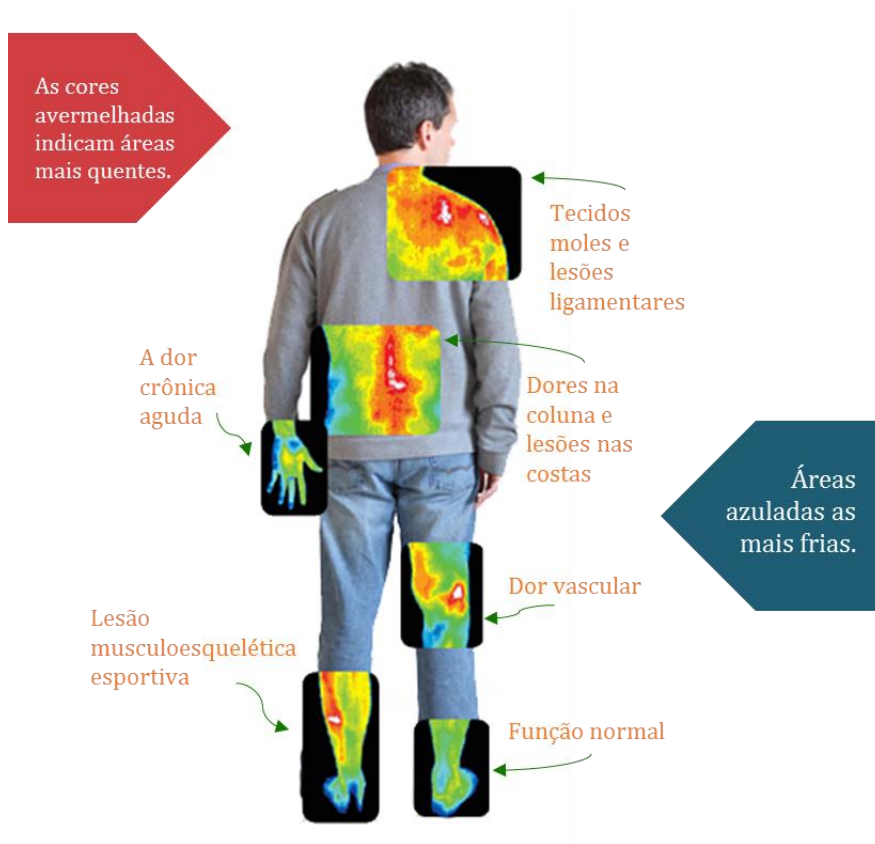
Técnica tem como resultado um mapa do campo de visão que permite, principalmente, avaliação do funcionamento da visão periférica.



Exames via imagem térmica

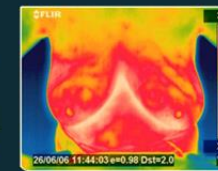
A termografia ou imagem térmica por infravermelho digital é um sistema não invasivo de avaliação da temperatura corporal através da medida de radiação infravermelha emitida pelo corpo.

Quanto maior a temperatura, maior a radiação infravermelha.

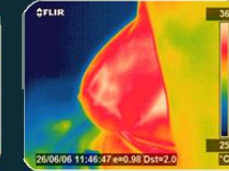


→ Câncer

Os tumores apresentam aumento no suprimento sanguíneo gerando aumento de temperatura se comparado ao tecido normal. A imagem térmica ao lado de uma paciente que apresenta tumor maligno na mama esquerda.



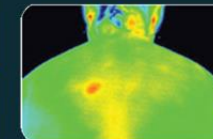
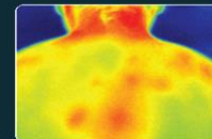
Termograma frontal



Termograma lateral mama esquerda

→ Síndrome miofacial

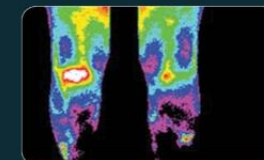
Mal caracterizado pela presença de pontos gatilho que causam dores musculares. Os pontos de gatilho (PG) são áreas bem delimitadas, podendo manifestar como um nódulo ou contração do músculo, a termografia pode identificar o local exato do PG. Abaixo a termografia de um paciente antes e depois do tratamento.



A tomografia apresentou uma mudança térmica localizada na região da nuca e o ponto de gatilho ativo na região do trapézio inferior do paciente.

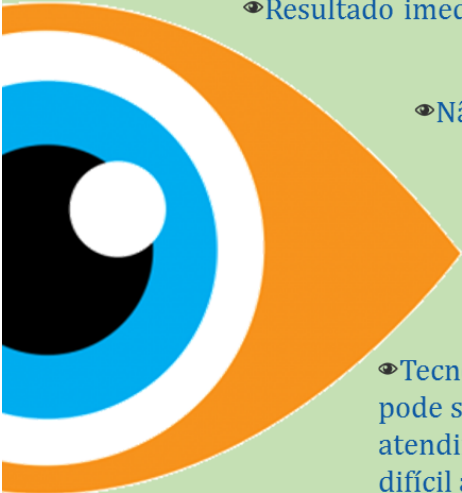
→ Doenças reumáticas

A inflamação é um dos sinais mais importantes da reumatologia, independente da patogênese. Uma característica comum das inflamações são o inchaço, vermelhidão e aumento da temperatura.



Joelho esquerdo de um paciente diagnosticado com artrite reumatoide.

Pontos fortes do exame via imagem térmica

- 
- Indolor
 - Resultado imediato
 - Não invasivo
 - Não é necessária dilatação de pupila
 - Tecnologia de pequeno porte, pode ser utilizada para atendimento em comunidades de difícil acesso/carretas da saúde
 - Sensor térmico extremamente sensível, consegue identificar pontos de calor específicos onde a pressão é maior

Agradeço a sua contribuição!

Caso tenha interesse em mais esclarecimentos sobre a pesquisa, estamos à disposição.

Contatos

Aluna: Paula Caminha Soares

Email: paulasoaresh91@gmail.com

Orientador: Prof. Dr. Sanderson Cesar Macedo Barbalho

Email: sandersoncesar@unb.br



Pesquisa de Projeto de Graduação



Queremos a sua opinião sobre a proposta de novo diagnóstico de imagem térmica

Nós apreciamos muito o seu tempo em responder esta pesquisa.

Responder

pressionar ENTER

“ Para responder as perguntas a seguir é preciso que tenha lido a "Proposta de um novo exame de diagnóstico do glaucoma", caso ainda não a tenha feito, o arquivo está disponível no anexo do email enviado ou no link abaixo:

<https://www.dropbox.com/s/pgekdeq597nn9w2/Proposta%20de%20Novo%20Diagn%C3%B3stico%20do%20Glaucoma.pdf?dl=0>

Continuar

pressionar ENTER

1 → Seu nome: *

2 → Profissão: *

3 → Empresa em que trabalha: *

4 → Cidade: *

5 → Há quanto tempo exerce a profissão: *

- 6 → Quais são os principais problemas dos equipamentos atuais para detecção do glaucoma?*



- 7 → Que características um produto para diagnóstico de glaucoma deve ter na sua opinião?*

- 8 → O que você achou da proposta de diagnóstico do glaucoma via imagem térmica?*



- 9 → Na sua opinião, existe algum diferencial deste produto em relação aos atuais? Qual(is)?^{*}
- 10 → Do ponto de vista médico, você acredita que vale à pena investir nessa ideia?^{*}
- 11 → Quanto você/sua empresa pagaria neste produto?^{*}
- 12 → Na sua opinião, quais seriam as dificuldades para desenvolver/colocar um produto deste no mercado atual?^{*}
- 13 → Caso queira deixar algum comentário adicional, por favor, utilize o campo abaixo:

14 → Você permite divulgarmos seu nome nos resultados da pesquisa?*

☐ Sim

☐ Não

15 → Caso queira indicar algum outro especialista (médico, pesquisador, professor...) que você acredita ter interesse na pesquisa utilize o campo abaixo:

Se possível, deixe o contato do indicado.

Enviar

pressionar ENTER

